



**Tielaitos**

74/21/90

## **Rengasmelu ja päällysteet**

**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**6/1990**

Helsinki 1990

**Tiehallitus  
Kehittämiskeskus**

# **Tielaitoksen selvityksiä 6/1990**

## **Rengasmelu ja päällysteet**

**Tielaitos**  
Tiehallitus, Kehittämiskeskus

Helsinki 1990

ISBN 951-47-4069-6

ISSN 0788-3722

TIEL 703616

TÄHTI-OFFSET Ky

Helsinki 1990

Julkaisua myy:

Tiehallituksen lomakevarasto

**Tielaitos**

Tiehallitus

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. vaihde (90) 1541

## TIIVISTELMÄ

Syksyllä 1989 ja keväällä 1990 tehtiin esitutkimus eri tienpäälystetyyppien vaikutuksesta ajoneuvojen rengasmeluun. Tutkittuina päälysteinä oli 13 eri koeosuutta, joukossa uusia ja vanhoja vakiopäälysteitä, erityisiä kokeiluosuuksia sekä kumiasfaltti- ja betonipäälyste. Lisäksi tutkittiin nopeuden muutoksen vaikutusta ja nastarenkaan melua.

Tutkimusmenetelmänä oli mittaus aivan renkaan ja tien kosketuskohdan lähellä, auton mukana kulkevalla mikrofonilla.

Tärkeimmät tulokset olivat:

- Eri päälystetyyppien väliset erot voivat olla 4 - 5 dB.
- Talven aikana päälysteiden meluisuus lisääntyi 1 - 2 dB.
- Nastarengas oli 3 - 4 dB meluisampi kuin kesärengas.
- Nopeuden kasvu portain 60 - 80 - 100 - 120 km/h lisäsi melua 2 - 3 dB jokaista 20 km/h lisäystä kohti.

Rengasmelun spektri oli niin samanlainen kaikilla päälysteillä, että eri päälysteiden järjestys ei muutu kauempanakaan tiestä tai rakennusten sisällä kuultuna. Kaikkien spektrien maksimi osui A-painotettuna 1 kHz:n terssikaistalle.

Tyypillinen hiljainen päälyste oli uusi AB-päälyste, betonitie kuului meluisimpien joukkoon, ja kumiasfaltti erosi äänensävyltään mutta ei melun voimakkuudeltaan muista.



## ABSTRACT

A pilot study to explore the effect of road pavement types on the tyre/road noise component of traffic noise was carried out during autumn 1989 and spring 1990. The investigated surface types (13 sections) included new and old normal asphalt surfacings and special test roads (for testing various surfacing materials, as well as rubberized asphalt and a concrete pavement). In addition, the effect of vehicle speed variations and the noise caused by studded winter tyres were studied.

The method of measurement was based on to find out the noise signal close to the tyre/surface contact, using a windshielded microphone attached to the car.

The main results were as follows:

- A variation of 4...5 dB was found within the group of surfaces tested.
- During the winter the noisiness of pavements grew up by 1...2 dB.
- The studded winter tyre was 3...4 dB noisier than the normal tyre.
- The growth of speeds 60 - 80 - 100 - 120 km/h increased the noise by 2...3 dB for every 20 km/h extra step in speed.

The spectrum of the tyre/road noise was so similar for all the surfaces tested, that the priority of noisiness will not change when observed further away from the road or inside buildings. The maximum of all the spectra (A-weighted) was found at the 1 kHz one third octave band.

The typical surface with low noise was a new bituminous asphalt pavement. The concrete pavement was among the noisiest ones, and the results on the rubberized asphalt were different compared to the others only concerning the tone of the noise.

## ESIPUHE

Tien ja renkaan kosketuksesta syntyvä rengasmelu on suurilla ajonopeuksilla merkittävä melulähde. Vähämeluisten päällystetyyppien käyttö yhtenä meluntorjuntakeinona on ulkomailla nopeasti yleistymässä. Kotimaisia tutkimuksia eri päällystetyyppien melutasoista ei juurikaan ole tehty.

Tämän esitutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää, missä määrin eri päällystetyyppien meluominaisuudet vaihtelevat eri ajonopeuksilla. Lisäksi on tutkittu yhden talven nastarengasliikenteen aiheuttaman kulumisen vaikutusta uusien päällysteiden meluominaisuuksiin. Samalla on kehitetty ja testattu rengasmelun mittausmenetelmiä.

Tutkimuksen on tehnyt tiehallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta Suomen Akustiikkakeskus Oy, jossa työstä ovat vastanneet Di Heikki T Tuominen ja TkT Tapio Lahti. Tilaajan yhdyshenkilönä on ollut tieins. Mikko Jokinen.

Tiehallitus  
Kehittämiskeskus

Lokakuu 1990

## SISÄLLYS

	TIIVISTELMÄ	
	ABSTRACT	
1	JOHDANTO	5
2	TUTKIMUSKOHTEET	5
3	MENETELMÄT	7
	3.1 Periaateratkaisut	7
	3.1.1 Ohiajomittaus	7
	3.1.2 Laboratoriomittaus	7
	3.1.3 Lähimittaus	8
	3.2 Menetelmän valinta	8
	3.3 Näytteenotto	9
	3.4 Analyysimenetelmät	9
4	MITTAUKSET	11
	4.1 Koeauto ja -rengas	11
	4.2 Mittausolosuhteet	12
	4.2.1 Syksy 1989	12
	4.2.2 Kevät 1990	12
	4.3 Laitteet	13
	4.4 Tarkkuus	13
5	TULOKSET	13
	5.1 Syksy 1989	14
	5.2 Kevät 1990	15
	5.3 Syksyn ja kevään mittausten erot	16
	5.4 Nasta- ja kesärenkaiden erot	17
	5.5 Koepäällysteosuuksien erot	17
6	TULOSTEN TARKASTELU	18
	6.1 Päällystetyyppien erot	18
	6.1.1 Kokonaisäänitaso	18
	6.1.2 Spektrit	19
	6.2 Muutos syksystä kevääseen	21
	6.3 Nastarenkaiden meluisuus	21
	6.4 Nopeuden vaikutus meluun	22
	6.5 Havaittujen erojen merkitys	22
	6.5.1 Suuremmat etäisyydet	22
	6.5.2 Rakennusten sisätilat	23
7	YHTEENVETO	23
	VIITTEET	24
	LIITE	



## 1 JOHDANTO

Suuremmilla nopeuksilla tien ja renkaan kosketuksen synnyttämä ääni on tärkein liikennemelun syntymekanismit. Tasaisessa liikenteessä rajana on n. 40 km/h nopeus kevyillä ja 60 km/h nopeus raskailla ajoneuvoilla [1]. Tienpäällysteiden tyyppien valintaa voidaan tällä perusteella pitää eräänä mahdollisena liikennemelun torjuntakeinona.

Vakiopäällysteillä tehdyissä ulkomaisissa vertailututkimuksissa on tyyppillisesti havaittu muutamien desibelien keskinäisiä eroja. Erikoispäällysteillä tehtyjen tutkimusten perusteella tiedetään, että parhaissa tapauksissa niillä on saavutettavissa useiden desibelien parannus, esim. [1],[2]. Suomessa ei päällysteiden vaikutusta liikennemeluun ole aiemmin tutkittu.

Päinvastoin kuin hiljaisten päällysteiden tutkimukset yleensä, tutkimukset päällysteiden vanhenemisen vaikutuksista meluun ovat harvinaisia kansainvälisestikin. Ehkä ainoa tätä koskeva julkisuudessa esiintynyt tieto on viitteessä [3].

Tiehallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta käynnistettiin syksyllä 1989 vertaileva esitutkimus tienpäällysteiden meluominaisuuksista. Pääajatuksena oli mitata melua rajatusta joukosta tienpäällysteitä siten, että samat kohteet mitataan sekä juuri ennen nastarengaskauden alkua että välittömästi sen jälkeen.

Esitutkimuksen tavoitteena on selvittää seuraavien tekijöiden vaikutusta meluun

- eri päällystetyyppien erot
- nastarenkaiden kulutus ja päällysteiden karkeutuminen
- nastarenkaiden meluisuus kesärenkaisiin nähden
- nopeuden vaikutuksen mahdolliset erot eri päällysteillä.

Lisäksi tarkastellaan eri päällysteillä havaittujen erojen merkitystä kauempana tiestä ja sisätiloissa. Tarkastelu tehdään laskennallisesti, käyttäen hyväksi tietoja melun leviämisestä ja ulkoseinien äänieristyksestä.

## 2 TUTKIMUSKOhteet

Tieosuudet olivat tilaajan osoittamia. Niitä valittaessa pyrittiin keräämään edustava joukko erilaisia päällysteitä. Kohteisiin kuului sekä uusia, kesällä 1989 päällystettyjä AB-tyyppejä että vanhempia, kunoltaan vaihtelevia kohteita.

Mukana olivat lisäksi mm. betonipäällyste, kumiasfalttisuus, urille jyrskitty osuus ja muutama varsi-

*Taulukko 1. Mitattujen tieosuuksien nimitykset ja sijainnit.*

nro	nimi	osuus
1	Länsiväylä	Espoonlahti - Kivenlahti
2	Turunväylä A	Veikkola - Palojärvi
3	Turunväylä B	Palojärvi - Lohjanharju
4	Kehä III	Pihlajarinne - Vanhakartano
5	Hämeenlinnanväylä	Kaivoksela - Kehä III
6	Lahdenväylä	Kuninkaanmäki - Korso
7	Tuusula	Mt 137, Nurmijärven raja
8	Hyvinkää A	Vt 3, Hyvinkää - Sveitsi
9	Hyvinkää B	Pohjoinen ohitustie
10	Valkeakoski	Vt 3, Antinniemi - Lempäälän raja
11	Lempäälä	Vt 3, Valkeakosken raja - Lastunen
12	Pirkkala A	Kt 45, Toivio (betonitie)
13	Pirkkala B	Kt 45, Naistenmatka

nainen kokeiluosuus, joissa oli useita lyhyitä koe-pääällystejaksoja peräkkäin.

Mitattujen tieosuuksien sijaintipaikat on lueteltu taulukossa 1, tarkemmat tunnisteet taulukossa 2 ja eräitä lisätietoja taulukossa 3.

Kokeilukohteita, jotka koostuivat useammasta erilaisesta lyhyestä koepääällysteosuudesta olivat seuraavat kohteet:

1	Länsiväylä	5 osuutta
2	Turunväylä	10 osuutta
6	Lahdenväylä	2 osuutta
10	Valkeakoski	3 osuutta

Näissä kohteissa oli työhypoteesina, että osuudet muodostavat melun kannalta yhden yhtenäisen kokonaisuuden. Poikkeuksena oli kohde 2 (Turunväylä), jossa lähdettiin kahden erilaisen osan oletuksesta. Hypoteesien paikkansapitävyyttä pyrittiin testaamaan tarkemmilla analyyseillä.

Kohteessa 8, Vt 3 Hyvinkään kohdalla, oli tehty urajyrsintä. Syksymittauksen aikaan marraskuussa oli jyrsintä näkyvissä muualla kuin kuopalle kuluneiden ajourien kohdilla. Tässä kohteessa tehtiin syksyllä kaksi nauhoitusta siten, että ensin ajettiin ajourissa ('sileällä') ja mittaus toistettiin ajamalla sivussa eli ajolinja valittiin mahdollisimman hyvin näkyvää jyrsintäpintaa pitkin ('urissa'). Keväällä kohteen pääällyste oli jo kulunut sileäksi koko leveydeltä.

Melun nopeusriippuvuuden tutkimiseksi pyrittiin mitaus toistamaan nopeuksilla 60, 80, 100 ja 120 km/h, nopeusrajoitusten puitteissa. Syksyn mittauksissa suurin nopeus onnistuttiin ajamaan vain Länsiväylällä (ilman nastoja). Pienin nopeus jouduttiin jättämään pois kohteissa 6 ja 8 vilkkaan liikenteen vuoksi. Keväällä ajettiin täydelliset nopeussarjat.



*Taulukko 2. Mitattujen tieosuuksien numerot sekä likimääräiset alkukohdat ja pituudet [km].*

nro	tie	tieosa	alku	pituus
1	Kt 51	06	2,8	1,0
2	Vt 1	08	0	6,5
3	Vt 1	09	0	5,0
4	Kt 50	03,04	2,5	4,8
5	Vt 3	102	0	3,5
6	Vt 4	105	0	3,5
7	Mt 137	07,08	3,5	1,0
8	Vt 3	113	0	3,0
9	Mt 143	01	0,5	5,5
10	Vt 3	131	1,3	2,4
11	Vt 3	131	3,7	3,7
12	Kt 45	01	5,1	2,0
13	Kt 45	01,02	7,1	3,1

### 3 MENETELMÄT

#### 3.1 Periaateratkaisut

Rengas- ja tiemelun mittauksissa on yleisesti käytetty kolmea eri mittausjärjestelyn ja mikrofonin sijoituksen periaateratkaisua [4],[5].

##### 3.1.1 Ohiajomittaus

Yksinkertaisinta on mitata samalla tavalla, jolla autojen kokonaismelupäästöä yleensä mitataan, eli ohiajomittauksena. Mikrofoni sijoitetaan tien varteen ja autolla ajetaan mittauspisteen ohi.

Ohiajomenetelmän hankaluutena on tässä tapauksessa, että auton moottorin tulee olla sammutettu ja voimansiirron kytkettynä vapaalle. Riittävän tilastollisen luotettavuuden saamiseksi on ohiajo toistettava useita kertoja ja kattavan otoksen saamiseksi päällysteestä on ohiajosarjat lisäksi mitattava monessa pisteessä.

##### 3.1.2 Laboratoriomittaus

Toinen mahdollinen ratkaisu on laboratoriomenetelmä, jossa pyörä on sijoitettu vasten suurta pyörivää rumppua, jonka pinta voi jäljitellä todellisia päällysteitä. Pyörä voi olla joko pienemmän rummun päällä tai suuremman sisäpuolella.

Menetelmä sopii hyvin tuotekehitystyyppiseen tutkimukseen, mutta paremmin vähämeluisten renkaiden kuin päällysteiden kehitykseen. Olosuhteet poikkeavat todellisista ajo-olosuhteista enemmän kuin muissa menetelmissä.

*Taulukko 3. Tieosuuksien liikennemäärät (keskivuorokausiliikenne), nopeusrajoitukset ja päällystetyypit.*

nro	KVL	nopeus	päällystetyyppi <sup>1)</sup>	vuosi
1	20000	100	ABE 20, SMA 16-20	89
2	18000	100	ABE 20, SMA 20	89
3	12000	100	ABE 16-20, SMA 16	89
4	19500	80	ABE 20	89
5	31500	80	AB 20	87
6	22000	100	ABE 20, kiviaineskoe	87
7	4700	100	AB 20	89
8	14400	80	ABE 20 + tasausjyrsintä 1989, urat osaksi sileät	86
9	1300	80	AB 25	89
10	7400	100	AAB, kumibitumi	89
			AAB, kumib. + arbocel	89
			AAB, B-80 + arbocel	89
11	7400	100	ABE 20	89
12	6600	100	betoni	83
13	6600	100	AB 12 + pintaan jyrätty sepelikarheus	89

<sup>1)</sup> Mittauskohteet 1, 2, 3 ja 10 sisältävät n. 500 m (= minimi) pitkiä päällystekoeosuuksia, joilla asfaltin koostumus hieman vaihtelee.

### 3.1.3 Lähimittaus

Kolmas tapa on kuljettaa mikrofonia auton mukana, jolloin se täytyy sijoittaa aivan renkaan ja tienpinnan välisen kosketuskohdan lähelle. Perusratkaisusta on olemassa kaksi muunnelmaa. Rengas voi olla sijoitettuna perävaunuun, moottorimelun vaikutuksen minimoimiseksi. Perävaunu voi olla kotelotyyppinen siten, että pyörä on kotelon sisällä ja kotelon sisäpinnat on lisäksi pyritty verhoilemaan kaiuttomiksi.

Yksinkertaisempi vaihtoehto on mitata tavallista ajoneuvon pyörää käyttäen. Tällöin pyritään muuten varmistamaan, että moottorin ja pakoputken säteilemän melun osuus mitatussa äänessä on olematon.

Etuna ajoneuvon mukana liikkuvan mikrofonin menetelmässä on hyvä tilastollinen luotettavuus, koska näytteenotto voi olla ajallisesti jatkuvaa ja koko halutun päällystejakson kattavaa. Tärkeimmät vaikeudet ovat ilmavirtauksen aiheuttaman häiriön eliminointi ja kosketuskohdan säteilemän äänen suuntakuvion vaikutusten hallinta. Jälkimmäinen tekijä voi aiheuttaa hankaluuksia, jos pyritään löytämään yhteys mittaustuloksen ja tavallisen ohiajon melutason välille.

## 3.2 Menetelmän valinta

Tämän työn ollessa kenttätutkimus oli valinta tehtävä ensimmäisen ja kolmannen vaihtoehdon välillä. Viimeainittua menetelmää pidettiin ennalta toivottavampa-



na sen tarjoaman paremman tilastollisen luotettavuuden takia.

Ilmavirran aiheuttaman häiriön määrästä tehtiin tutkimuksen aluksi testisarja. Siinä havaittiin, että sopivilla mikrofonin lisävarusteilla saatiin häiriön vaikutus riittävän vähäiseksi. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui, samoin kuin eräissä muissa tutkimuksissa [6],[7], virtauskartion ja tuulisuojan käyttäminen yhtäaikaan.

On etukäteen odotettavissa, että äänen säteilyn suuntakuviorengas ja tien kosketuskohdasta on epätasainen. Ilmiötä ei ryhdytty tässä työssä tarkemmin selvittämään; oletettiin, että mikrofonin paikan pitäminen vakiona ei oleellisesti häiritse eri päällysteiden keskinäistä vertailua.

Ilmiön tarkempi selvitys olisikin tarpeen vasta, jos pyritäisiin löytämään yhteys absoluuttiseen melupäästön tasoon. Sen sijaan tässä vaiheessa oletetaan, että suhteelliset erot eri päällysteiden välillä säilyvät samoina myös kauempaa katsottuina. Toisin sanoen nyt saatavat tulokset ovat käyttökelpoisia myös, jos tarkastellaan päällysteiden keskinäisiä eroja tien lähiympäristössä. Tätä oletusta tukevat eräät aiemmat tutkimukset [4],[5]. Niissä on havaittu, että äänitason lisäksi myös spektrit säilyttävät muotonsa ja keskinäisen järjestyksensä siirryttäessä kauemmaksi.

### 3.3 Näytteenotto

Auton mukana liikkuvan mikrofonin menetelmässä tärkeintä on saada muiden melulähteiden osuudet mahdollisimman pieniksi päällystemeluun nähden. Virtausmelun vaimentamiseksi käytetyt varusteet mainittiin edellä. Moottorin, voimansiirron ja pakoputken melun vaimentamiseksi on niiden suhteellista etäisyyttä päällystemelun syntykohtaan verrattuna kasvatettava mahdollisimman paljon eli mikrofoni on sijoitettava hyvin lähelle renkaan ja tien kosketuskohtaa.

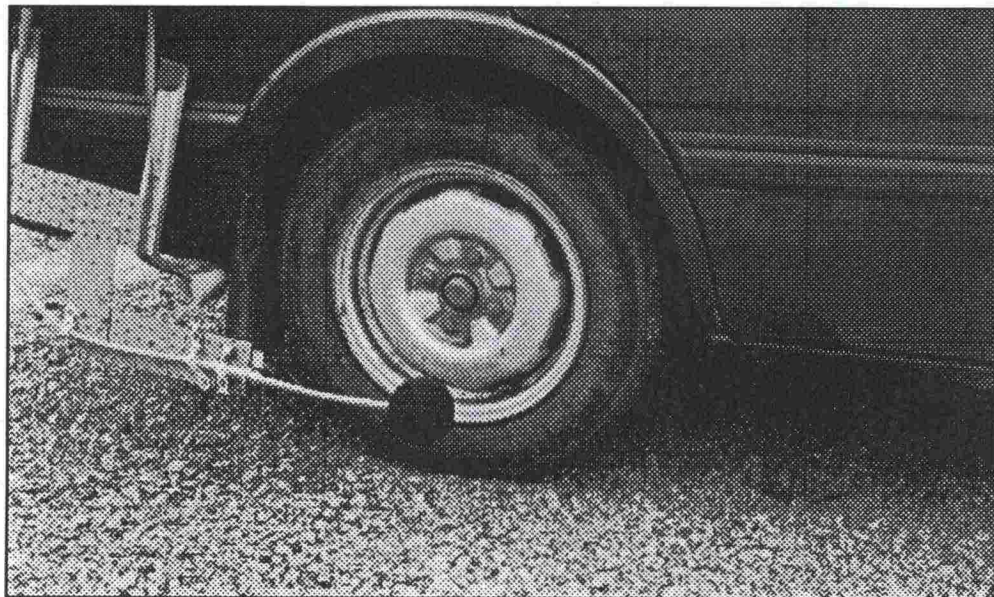
Työssä käytetty mikrofonin sijoitus näkyy kuvissa 1 ja 2. Mikrofoni oli kiinnitetty kehikkoon, joka ulottui auton sivulle takapyörän takapuolelle. Itse mikrofoni oli pyörän akselin tasalla, 16 cm korkeudella maasta ja 14 cm etäisyydellä vanteesta.

### 3.4 Analyysimenetelmät

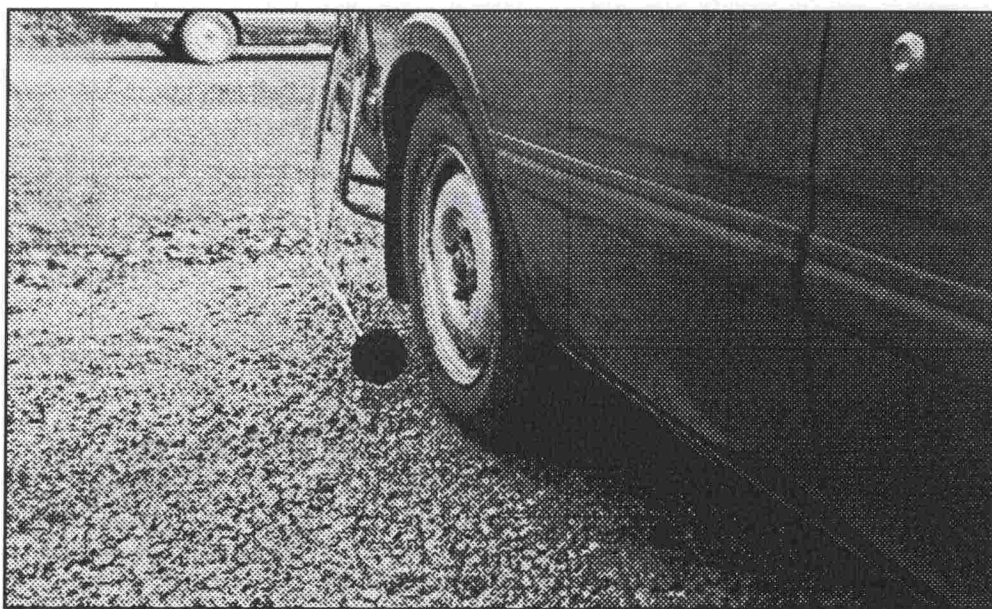
Perusmenetelmänä analyysissä käytettiin spektrianalyysiä terssikaistoittain. Analyysijakson pituus valittiin kattamaan koko tutkittava päällystejakso. Spektrianalyysin sivutuotteena saatiin ekvivalentti A-äänitaso  $L_{Aeq}$  mittaussjaksoilta.

Koetieosuuksien tarkempaan tutkimiseen käytettiin Apainotetun kokonaisäänipainetason aikahistorian ana-





*Kuva 1. Mikrofonin sijoitus mitattavan renkaan vieressä.*



*Kuva 2. Mikrofoni edestä nähtynä.*

lyysiä. Tämän lisäksi äänen sävyä tarkkailtiin aistinvaraisesti, sekä ajon aikana että nauhoitusta jälkikäteen kuuntelemalla.

Koska yksittäiset koeosuudet olivat kestoltaan vain muutamia, enintään muutamia kymmeniä sekunteja, katsottiin että kokonaisäänitaso on ainoa ajan funktio, jonka analysointi on tilastollisesti mielekäästä. Kokonaisten terssispektrien ajallisen vaihtelun tarkastelu näin lyhyistä näytteistä kullakin taajuuskaistalla erikseen olisi liian epävarmaa.



**Taulukko 4. Mittauspäivät ja -ajat syksyn 1989 mittauksissa.**

nro	pvm.	klo
1	25.11.89	18.15 - 20.30
2	25.11.89	16.45 - 17.30
3	25.11.89	- " -
4	25.11.89	15.55 - 16.20
5	25.11.89	15.35 - 15.45
6	19.11.89	16.50 - 18.40
7	19.11.89	14.50 - 15.00
8	19.11.89	15.15 - 15.20
9	19.11.89	15.35 - 15.45
10	5.12.89	16.00 - 18.30
11	5.12.89	- " -
12	5.12.89	16.30 - 16.50
13	5.12.89	- " -

A-äänitason vaihtelun analyysiin käytettiin tiedonkeruulaitteistoa ja analysointiohjelmistoa, jotka sovitettiin tätä tutkimusta varten äänitason käsittelyä varten. Itse tarkasteltava funktio oli A-taajuuspainotettu ja S-aikapainotettu äänitaso  $L_{AS}(t)$  ja sen keskiarvo, joka on tässä tapauksessa riittävän tarkasti sama kuin lyhyen tarkasteluajan ekvivalenttitaso.

Äänitasomittarissa tehdyn A- ja S-painotuksen jälkeen tiedonkeruulaitteisto otti äänitasosta näytteitä 1 s välein, ja tälle näytejonolle voitiin tehdä jatko-tarkastelu. S-aikapainotuksen tehollinen integrointi-aika on 2 s. Tästä seuraa, että näytejonossa on toisistaan tilastollisesti riippumattomia tapahtumia puolet näytteiden lukumäärästä.

Tällä luvulla on merkitystä, kun arvioidaan kahden lyhyen näytejonon mahdollisten erojen tilastollista merkitsevyyttä (esimerkiksi niiden keskiarvoissa). Tilanne tulee eteen, kun tarkastellaan kokeilukohdeiden lyhyitä koeosuuksia. Niiden välisiä pieniä eroja ei voi luotettavasti pitää merkitsevinä. Lyhyimmillään osuudet ovat n. 200 m pituisia, mikä vastaa esim. 100 km/h nopeudella n. 7 s pituista aikaa ja n. 3 - 4:ää riippumatonta näytettä. Pidemmilläkin koeosuuksilla tämä luku on muutaman kymmenen suuruusluokkaa, jolloin 1 - 2 dB:n erot eivät vielä ole merkitseviä.

#### 4 MITTAUKSET

##### 4.1 Koeauto ja -rengas

Koeauto ja -rengas pidettiin mittauksissa vakioina yhtä poikkeusta lukuunottamatta. Poikkeus oli nastarengasmittaus Länsiväylän osuudella syksyllä 1989. Renkaat oli asennettu mittausauton oikeanpuoleiseksi takapyöräksi.

*Taulukko 5. Säätila mittauksen aikana.*

pvm.	lämpö	tuuli	pilvisuus	tienpinta
19.11.89	+6	heikko	selkeää	kuiva, paljas (kohteessa 7 iltakasetta)
25.11.89	-6	heikko	melkein selkeää	kuiva, paljas
5.12.89	-5...-7	heikko	selkeää	kuiva, paljas
22.4.90	+10...+13	heikko	pilvistä	kuiva, paljas

Tilaaaja ei asettanut vaatimuksia koeauton ja -renkaan suhteen. Kaikissa mittauksissa auton oli Madza 626 GLX vm. 83. Mitattu kesärenka oli sisärenkaaton teräsvyörengas Semperit Hi-Speed 185/70 HR14 87H. Renkaalla oli ajettu n. 30.000 km ennen mittauksia, ja sen kulutuspinnan syvyys oli mittaushetkellä n. 4 mm. Nastarenkaana oli Nokia NR 09. Renkaalla oli ajettu n. 20.000 km ja sen kulutuspinnan syvyys oli n. 5 mm.

Renkaiden ilmanpaine säädettiin autonvalmistajan suosituksen (1,8 bar) mukaiseksi.

## 4.2 Mittausolosuhteet

### 4.2.1 Syksy 1989

Kaikkien mittauksen aikana tienpinta oli paljas ja lähes kaikkien mittauksen aikana kuiva. Poikkeuksena oli Hyvinkään pohjoisen ohitustien mittaus 19.11.89, n. klo 15.35-15.45, jolloin iltakaste oli osittain kostuttanut tienpintaa, eikä vähäinen liikenne riittänyt kuivattamaan ajouria. Myöhemmin samana iltana mitattu Lahdenväylä oli kuiva vilkkaamman liikenteen ansiosta.

Jälkimmäisinä syksyn 1989 mittauspäivinä, 25.11 ja 5.12, tienpinnat olivat kuivat, mutta pakkasta oli n. -6°. Siksi on periaatteessa mahdollista, että tienpinnan huokosissa on ollut jäätä, jolla on voinut olla vähäinen vaikutus syntyneeseen meluun.

Syksyn 1989 mittauksen ajankohdat on lueteltu taulukossa 4 ja niiden aikana vallinneet sääolosuhteet taulukossa 5.

### 4.2.2 Kevät 1990

Kevään 1990 mittaukset voitiin tehdä erinomaisissa olosuhteissa. Kaikki kohteet mitattiin 22.4.1990 klo 9.00 - 21.30 välisenä aikana. Kohteiden ajojärjestys oli: 5 ... 9, 10 ja 11, 12 ja 13, 4, 2 ja 3, 1.



### Taulukko 6. Mittauslaitteet.

nimi	merkki	tyyppi
mikrofoni	Brüel & Kjær	4165
kärkikartio	Brüel & Kjær	UA 0386
tuulisuoja	Brüel & Kjær	UA 0237
joutsenkaula	Brüel & Kjær	UA 0196
mittausvahvistin	Brüel & Kjær	2209
äänitasokalibraattori	Brüel & Kjær	4230
nauhuri	Sony	TC-D5M
äänitasomittari	Brüel & Kjær	2231
spektrianalysaattori	Iwatsu	SM-2100B
tiedonkeruulaitteisto	Metrabyte	DASH-16
analysointiohjelmisto	ASYSTANT+	

#### 4.3 Laitteet

Mittausmikrofonin signaali johdettiin äänitasomittariin, joka toimi tallennusvaiheessa vain vahvistimena ja A-suotimena. Mittarin vaihtojännitelähtö oli kytketty nauhuriin, jolla signaali tallennettiin myöhempä jatkokäsittelyä varten.

Nauhat analysoitiin taajuusanalysaattorilla ja äänitason aikasignaalin jatkokäsittelyyn käytettiin äänitasomittarin lisäksi PC-mikrotietokoneeseen liitettyä tiedonkeruulaitteistoa ja -ohjelmistoa. Laitteet on lueteltu taulukossa 6.

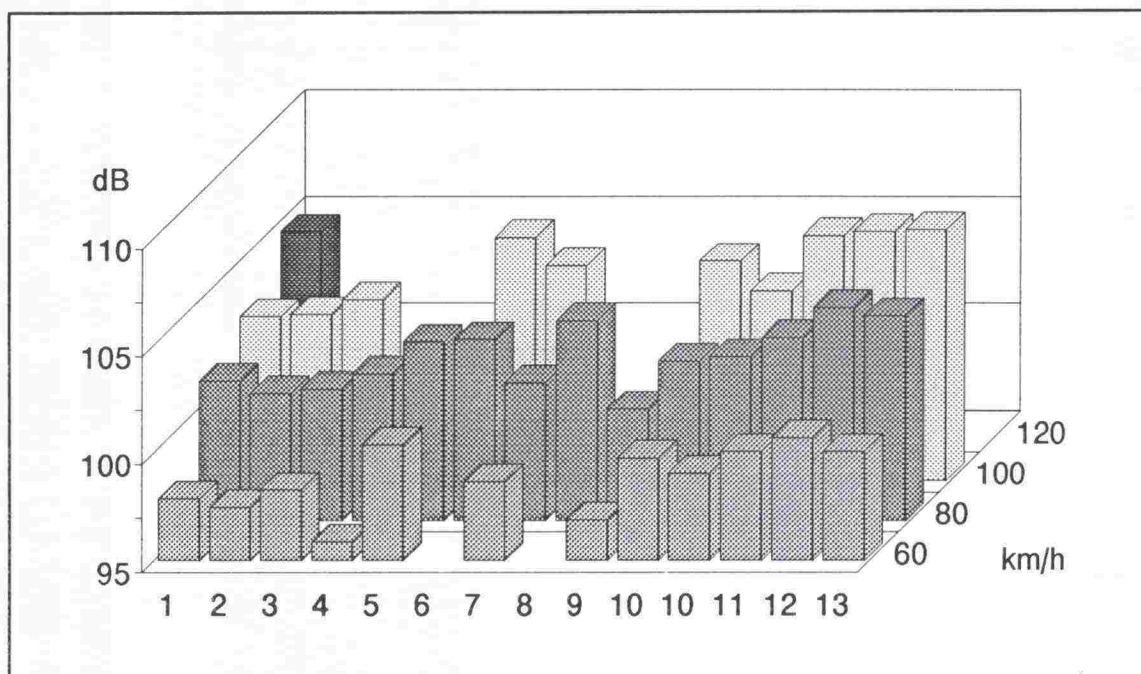
#### 4.4 Tarkkuus

Tässä tutkimuksessa mitattujen äänitasojen absoluuttinen tarkkuus on suuruusluokaltaan n.  $\pm 1 \dots \pm 2$  dB ekvivalenttitason osalta. Vain äänitasojen kokonaislukuosa on merkitsevä. Terssitasojen tarkkuus on tätä jonkin verran huonompi. Sen sijaan suhteellinen tarkkuus (äänitasojen välinen erotus) on parempi, koska systemaattiset virheet suurelta osin kumoutuvat. Näissä tapauksissa kokonaisäänitasojen erotuksien ensimmäistä desimaalia voidaan pitää suuntaa antavana, joskaan ei vielä merkitseväenä numerona. Terssitasojen erotuksien tarkkuus on suuruusluokaltaan n.  $\pm 1$  dB.

### 5 TULOKSET

Tutkittujen päällysteiden ekvivalentit A-äänitasot eri nopeuksilla mittausmikrofonin kohdalla on koottu taulukoihin 7 ja 8. Sama informaatio on lisäksi piirretty kuviin 3 ja 4. Kuvat on tarkoitettu antamaan vain visuaalinen, kvalitatiivinen vaikutelma vaihteluiden laajuudesta; tarkat numeeriset tiedot saadaan taulukoista. Vastaavat terssispektrit on esitetty kohteittain liitteen kuvissa 7 - 21 ja 31 - 44.

## 5.1 Syksy 1989



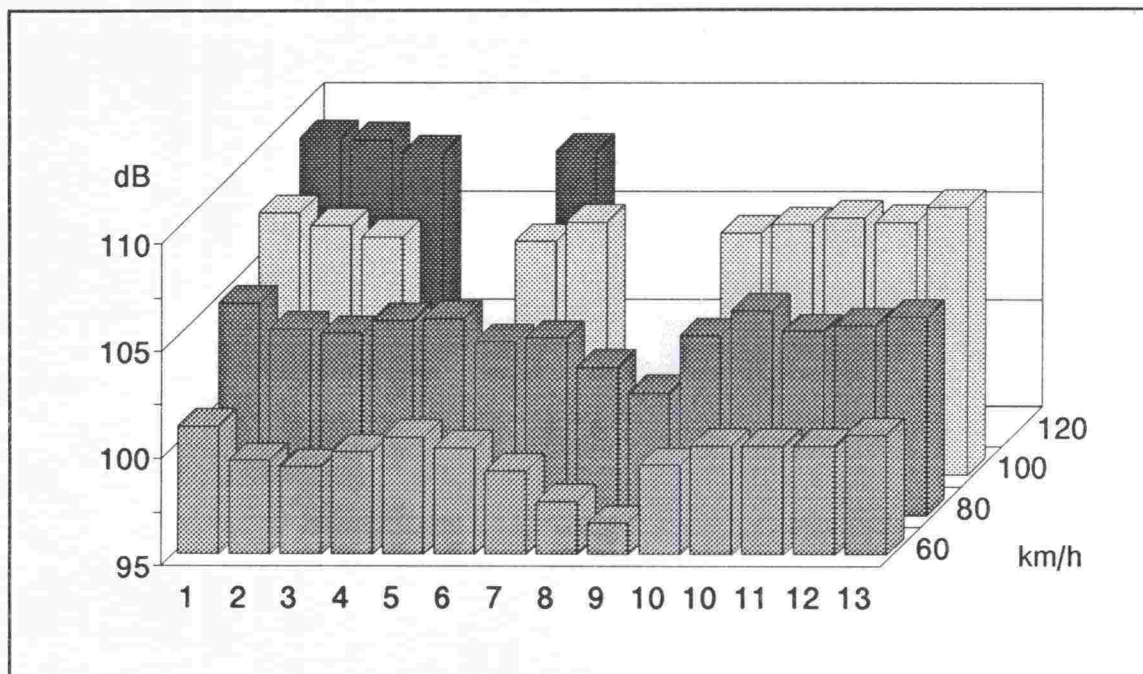
Kuva 3. Syksyn mittaukset.

Taulukko 7. Ekvivalentit A-äänitasot  $L_{Aeq}$  (dB) eri nopeuksilla, syksyn mittaukset.

kohde	nopeus, km/h			
	60	80	100	120
1	97,9	101,5	102,6	104,7
2	97,5	100,9	102,7	
3	98,3	101,1	103,4	
4	95,9	101,8		
5	100,4	103,3		
6		103,4	106,3	
7	98,7	101,4	105,0	
8a		102,4		
8b		104,3		
9	96,9	100,2		
10a	99,8	102,4	105,2	
10b	99,1	102,6	103,8	
11	100,1	103,5	106,4	
12	100,7	104,9	106,6	
13	100,1	104,5	106,7	
vaihteluväli	4,8	4,7	4,1	

8 a: sileä, b: urissa, 10 a: alkuosa, b: loppuosa

## 5.2 Kevät 1990



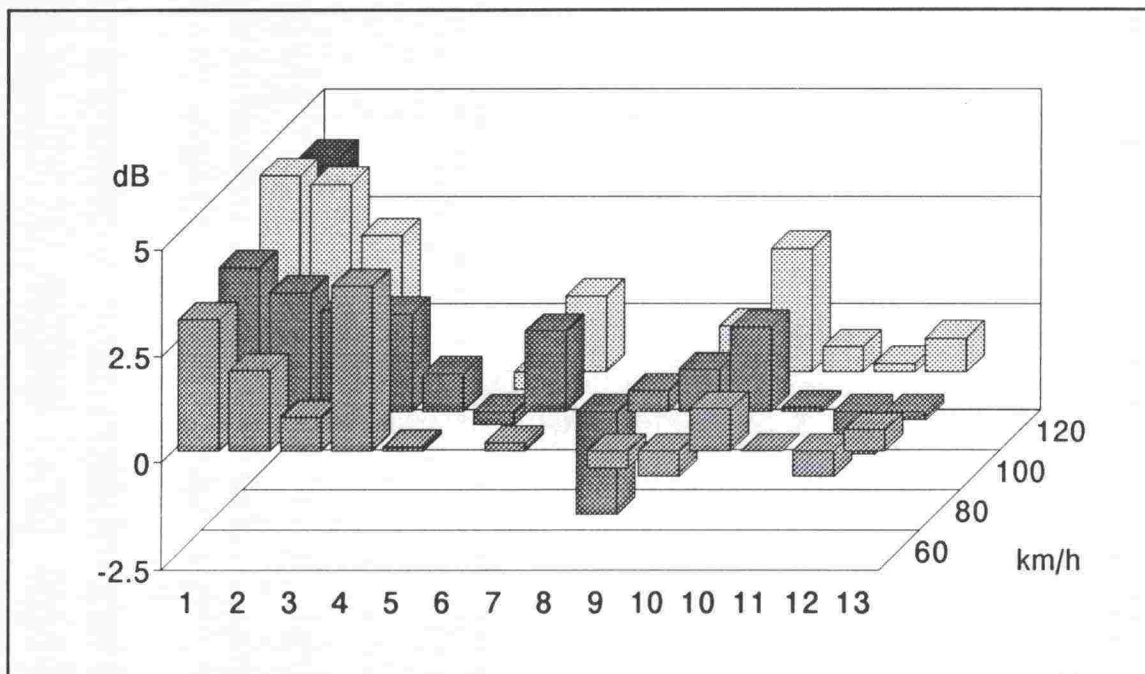
Kuva 4. Kevään mittaukset.

Taulukko 8. Ekvivalentit A-äänitasot  $L_{Aeq}$  (dB) eri nopeuksilla, kevään mittaukset.

kohde	nopeus, km/h			
	60	80	100	120
1	101,0	104,9	107,2	108,8
2	99,4	103,7	106,6	108,7
3	99,1	103,5	106,1	108,1
4	99,8	104,1		
5	100,5	104,2		
6	100,0	103,1	105,9	108,2
7	98,9	103,3	106,8	
8	97,5	101,9		
9	96,5	100,7		
10a	99,2	103,4	106,3	
10b	100,1	104,6	106,7	
11	100,1	103,6	107,0	
12	100,1	103,9	106,8	
13	100,6	104,3	107,5	
vaihtelu- väli	4,5	4,2	1,6	0,7
10 a: alkuosa, b: loppuosa				



## 5.3 Syksyn ja kevään mittausten erot



Kuva 5. Kevään ja syksyn mittausten erotus.

Taulukko 9. Ekvivalentin A-äänitason  $L_{Aeq}$  muutos eri nopeuksilla, kevään ja syksyn mittausten erotus (dB).

kohde	nopeus, km/h			
	60	80	100	120
1	+3,1	+3,4	+4,6	+4,1
2	+1,9	+2,8	+3,9	
3	+0,8	+2,4	+2,7	
4	+3,9	+2,3		
5	+0,1	+0,9		
6		-0,3	-0,4	
7	+0,2	+1,9	+1,8	
8		-2,4		
9	-0,4	+0,5		
10a	-0,6	+1,0	+1,1	
10b	+1,0	+2,0	+2,9	
11	0	+0,1	+0,6	
12	-0,6	-1,0	+0,2	
13	+0,5	-0,2	+0,8	
vaihtelu- väli	-0,6... +3,9	-2,4... +3,4	-0,4... +4,6	
10 a: alkuosa, b: loppuosa				

*Taulukko 10. Nopeuksittain lasketut keskiarvot kevään ja syksyn mittauksista (vain uudet, 1989 päällystetyt kohteet) sekä niiden erotukset (dB).*

	nopeus, km/h			
	60	80	100	120*
syksy	98,4	102,0	104,5	(104,7)
kevät	99,5	103,6	106,8	(108,8)
muutos	+1,1	+1,6	+2,3	(+4,1)

\*vain yksi vertailupari

Taulukossa 9 on lueteltu ja kuvaan 5 on piirretty kohteittain ja nopeuksittain kevään ja syksyn mittaus-tulosten erotus. Taulukkoon 10 on koottu vastaavat yli kohteiden lasketut keskiarvot eri nopeuksilla sekä niiden erotus, siten että mukana ovat vain ne kohteet, jotka päällystettiin vuonna 1989. (Positiivinen muutos tarkoittaa melutason kasvua syksystä kevääseen.)

#### 5.4 Nasta- ja kesärenkaiden erot

Kohteessa 1 syksyllä mitatut kesärenkaan ja nastoitettun talvirenkaan väliset erot on lueteltu taulukossa 11. Vastaava vertailu taajuuden funktiona terssikais-toittain nähdään liitteen kuvista 22 - 24.

*Taulukko 11. Kesä- ja nastarenkaiden vertailu syksyllä 1989 kohteessa 1 (Länsiväylä) eri nopeuksilla.*

	nopeus, km/h		
	60	80	100
rengas			
kesä	97,9	101,5	102,6
nasta	101,7	104,9	105,6
erotus	3,8	3,4	3,0

#### 5.5 Koepäällysteosuuksien erot

Kohteita, joissa oli useampia lyhyitä koepäällyste-osuuksia, tarkasteltiin kokonaisäänitason aikahistorian avulla. Näiltä osuuksilta analysoidut äänitason aikafunktiot on esitetty liitteen kuvissa 50 ja 53 - 58.

Näistä kohde 6 (Lahdenväylä) osoittautui sellaiseksi, jossa mitään systemaattisia eroja tai trendejä eri kohtien välillä ei ollut havaittavissa tavanomaisen



satunnaisvaihtelun alta. Tämä satunnaisvaihtelu oli kaikissa kohteissa S-aikapainotettuna hetkellistasona  $\pm 1$  dB luokkaa. Lyhyemmiltä osuuksilta lasketut ekvivalenttitasot asettuivat jo muutaman desibelin kymmenyksen sisälle. Myöskään aistinvaraisesti ei kohteen 6 melussa ollut havaittavissa muutoksia.

Muissa kolmessa kohteessa oli koeosuuksilla havaittavissa lieviä vaihteluita, jotka liitteen kuvien äänitasokäyrissä jossain määrin erottuvat puhtaasti satunnaisista vaihteluista. Länsiväylällä ja Turunväylällä vaihtelut äänitasokäyrässä olivat n. 2 dB (keskimääräinen S-painotettu äänitaso). Melun äänenväriä ei ollut selviä eroja näissä kahdessa kohteessa auton sisällä tai nauhalta kuunneltuna.

Turunväylän kokeiluosuus jaettiin ekvivalenttitason analyysissä ennakkohypoteesin mukaan kahteen osaan. Osoittautui, että nämä jaksot eivät poikenneet toisistaan kokonaistason eivätkä terssitasojen osalta. Erot olivat alle 0,5 dB eri nopeuksilla.

Ensitutustuminen Valkeakosken/Lempäälän kohteeseen tapahtui pimeän aikana, mutta pelkästään kuuntelemalla oli välittömästi selvää, missä kohdissa kumia sisältänyt koejakso alkoi ja päättyi. Kumijakson sisällä tuntui subjektiivisesti erottuvan kaksi erilaiselta kuulostavaa jaksoa, jotka analysoitiin erikseen (kohteet 10a ja 10b). Yritys tuotti kuitenkin negatiivisen tuloksen; jaksoiden mittaustulokset eivät eronneet merkittävästi toisistaan.

Kumijaksoiden kokonaistasot olivat lisäksi samat kuin vertailupäällysteen, joka kuitenkin kuulosti erilaiselta. Selitys kuulovaikutelmaan saatiin vasta spektrianalyysistä (kokeilujaksoiden ja vertailuosuuksien spektrien vertailu on esitetty liitteen kuvissa 25 - 30 ja 45 - 49).

Betonitie erottui vertailuparistaan selvästi sekä tunto- että kuuloaistin perusteella. Näiden kokonaistasot olivat kuitenkin taas yhtä suuret, ja jälleen vasta spektrianalyysi toi eron näkyviin.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Päällystetyyppien erot

#### 6.1.1 Kokonaisäänitaso

Vaihteluvälit taulukoissa 7 ja 8 osoittavat, että tämän tutkimuksen suuruisessa joukossa eri päällysteitä havaitaan 4 - 5 dB:n eroja hiljaisimman ja meluisimman päällysteen välillä. Välit kaventuivat suuremmilla nopeuksilla, mutta selityksenä on lähinnä, että hiljaisimmilla päällysteillä olleet nopeusrajoitukset karsivat ne joukosta pois.

Hiljaisimmaksi päällysteeksi voidaan nimetä Hyvinkään ohitustien uusi AB 25. (Spektrejä liitteen kuvissa 12 ja 34 vertaamalla voidaan havaita, että tienpinnan märkyys syksyn mittauksen aikana ei vaikuttanut kokonaistasoon. Märkyymisen vaikutus näkyy kuitenkin selvästi suurilla taajuuksilla n. 5 kHz:stä ylöspäin.) Toisen vähämeluinen päällyste oli Vt 3:n sileäksi kulunut osuus Hyvinkään kohdalla keväällä 1990.

Meluisimman päällysteen nimeäminen on epävarmempaa. Pirkkalan betonitie kuului selvästi meluisimpien joukkoon, samoin kuin sen vertailupari Kt 45:llä, uusi AB 12. Jälkimmäisen päällysteen lisämääre ("pintaan jyrätty sepeliharheutus", taulukko 3) selittää ainakin osan meluisuudesta. Myös Vt 3:n uusi ABE 20 Lempäälässä oli meluisa.

Kokeiluosuudet sijoittuivat paremmuusjärjestykseen vaihdellen. Turunväylä kuului ehkä hiljaisempaan päähän, mutta Länsiväylä erityisesti keväällä meluisampaan. Lahdenväylä ja Vt 3:n Valkeakosken kumiasfaltti olivat keskitasoa.

### 6.1.2 Spektrit

Kaikki tämän raportin spektrit on esitetty siten, että niissä on A-painotus mukana. Näin voidaan suoraan nähdä, mikä on kunkin terssin painoarvo ja merkitys kokonais-A-tasoa muodostettaessa. Jos toisaalta haluttaisiin tarkastella melun todellisia spektrejä, olisi siis A-painotusta vastaavat vaimennukset poistettava kultakin terssiltä.

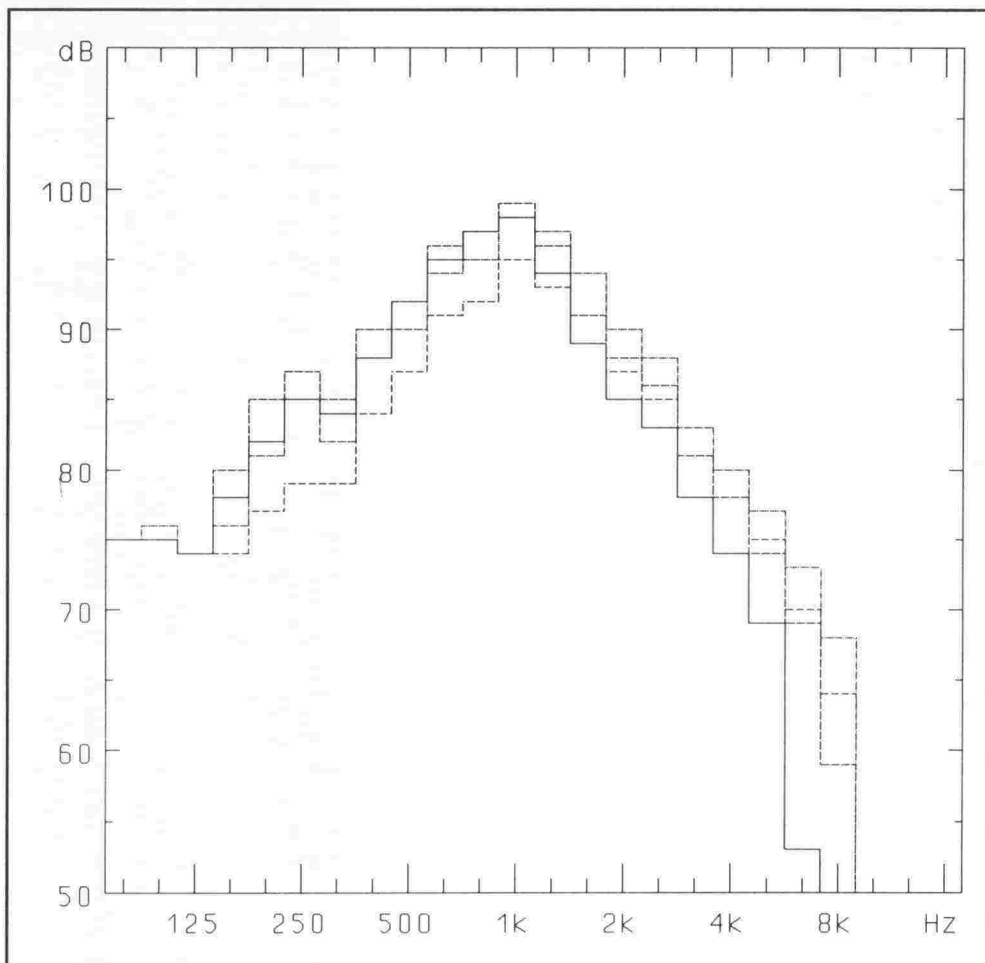
Mitatut spektrit olivat hyvin samanmuotoisia. Aivan muutamaa harvaa poikkeusta lukuunottamatta kaikkien mitattujen spektrien maksimi osui A-painotettuna 1 kHz:n terssikaistalle.

Useimmille eri päällysteiden välillä subjektiivisesti havaituille eroille löytyi vastineet melun spektreistä. Kuvaan 6 on piirretty esimerkit neljästä spektristä, jotka on valittu edustamaan mahdollisimman erilaisia tapauksia samalla vakionopeudella.

Pirkkalan uusi, pinnastaan sepeliharheutettu AB 12 ja Hyvinkään ohitustien uusi, sileä AB 25 olivat spektreiltään tavallisten asfalttien ääripäät. Kumiasfaltti ja betoni olivat spektreiltään koko joukosta kaikkein eniten toisistaan poikkeavat päällysteet.

Asfalttipäällysteiden erojen osalta kuvasta 6 havaitaan, että kun kokonaistasoeroa ei oteta huomioon, Pirkkalan ja Hyvinkään ohitustien asfaltit eroavat toisistaan nimenomaan pienillä taajuuksilla. Ensinmainittu, pinnaltaan karhea päällyste synnyttää huomattavasti enemmän matalia ääniä.





Kuva 6. Esimerkkispektrit neljästä erilaisesta päällysteestä nopeudella 80 km/h:

(ehjä) kohde 10a, Valkeakoski, kumiasfaltti  
 (harva katko) kohde 9, Hyvinkää ohit., uusi AB 25  
 (tiheä katko) kohde 13, Pirkkala B, uusi AB 12  
 (pistekatko) kohde 12, Pirkkala A, betoni.

Kumiasfaltti- ja betonipäällysteiden spektreistä nähdään mitattu vastine kuulohavainnoille. Kumin jymisevän vaikutelman aiheuttaa kaikkein korkeimmat pienten taajuuksien terssitasot ja jyrkimmin laskeva suurten taajuuksien luiska. Vastaavasti betonitien melussa on suhteellisen vähän pienitaajuisia ääniä (tosin enemmän kuin Hyvinkään ohitustien asfaltilla) ja kaikkein eniten suurtaajuisia komponentteja. Tämä vastaa betonitien korvin terävältä kuulostavaa ääntä.

## 6.2 Muutos syksystä kevääseen

Taulukosta 10 havaitaan, että talven aikana tapahtuneella päällysteiden kulumisella oli keskimäärin n. 1 - 2 dB:n suuruinen melua lisäävä vaikutus. Suuremmilla nopeuksilla melun kasvu näytti hieman tätä suuremmalta, mutta nopeudella 100 km/h oli vertailussa mukana vähemmän mittaustulospareja ja nopeudella 120 km/h vain yksi.

Muutoksia toiseenkin suuntaan eli melun vähentymistä talven aikana havaittiin. Tasausjyrsintä Vt 3:lla Hyvinkäällä oli kulunut täysin sileäksi ja melu vähentyi n. 2 dB:llä. Betonipäällysteen melu oli myös vähentynyt, mutta muutos oli vähäinen ja mittausepä-tarkkuuden rajoissa.

Kuvassa 5 kiinnittää kuitenkin huomiota kohteiden 1 - 4 ryhmä, joka näyttäisi poikkeavan systemaattisesti muista. Näissä on talven kuluessa tapahtunut muutos ollut suurempi, n. 2 - 4 dB. Näille kohteille on yhteistä ja muista poikkeavaa sama mittausaika syksyllä, illalla 25.11.89. Tämä herättää epäilyn syksyn tuon päivän mittausten luotettavuudesta.

Mittausten kalibrointi nauhalla tarkistettiin uudelleen ja sen todettiin olleen kunnossa. Ilmeisille systemaattisille poikkeamille pyrittiin tämän jälkeen löytämään muita mahdollisia aiheuttajia, ja seuraavat kaksi tekijää voivat olla tällaisia syitä, jotka ovat yhdessä voineet vaikuttaa samaan suuntaan.

Pakkasen vaikutus tien kovuuteen ja pinnan huokosten jäätymiseen mainittiin edellä kohdassa 4.2.1. Tähän mahdollisuuteen liittyen voidaan mainita, että viitteessä [3] havaittujen kesä- ja talvimittausten erojen tulkittiin johtuneen suoraan päällysteen lämpötilan eroista. Tosin syksyn viimeisenä mittauspäivänä 5.12. oli yhtä kylmää. Ilman kosteudessa on mahdollisesti kuitenkin ollut eroa; viimeistä mittauspäivää oli edeltänyt pidempi kuiva jakso. Teiden pinnalla oli lisäksi iltaa kohti hieman lisääntyvässä määrin ohutta jääkiteiden pölyä.

Toisen mahdollisen tekijän on voinut muodostaa lievästi epäedulliset ajo-olosuhteet. Ajamisella pimeässä ja kylmässä kesärenkailla -- vaikkakin paljaalla tiellä -- on voinut olla vaikutusta siihen tarkkuuteen, millä vakionopeutta yritettiin pitää yllä mittauksen aikana. Lieviä nopeuden alituksia todettiin ko. iltana. Tähän viittaisi ilmiö, että suuremmilla nopeuksilla 100 ja 120 km/h erot olivat suuremmat.

### 6.3 Nastarenkaiden meluisuus

Nastarenkaan aiheuttama melun kasvu (taulukko 11) oli 3 - 4 dB. Erot eri nopeuksien välillä eivät ole merkitseviä. Melun lisäys on samaa luokkaa, mitä tiedettiin odottaa ennalta aiemman tietämyksen nojalla.

Lisätietoa nastojen melusta saadaan vertaamalla Länsi-väylän kesä- ja nastarengasmittauksia (liitteen äänitasokäyrät kuvissa 50 - 52). Niistä havaitaan, että kesärenkaalla kokeiluosuuden aikana eri nopeuksilla samanlaisina esiintyneet paikalliset vaihtelut katosivat nastarenkaalla. Ilmeinen selitys on, että itse nasta on määräävä tekijä melun synnyssä ja että päällystetyypin vaihtelulla ei ole merkittävää vaikutusta.



Nastarenkaiden spektrissä oli havaittavissa kaksi taajuusalueita, joilla oli huomattavaa lisäystä kesärenkaaseen verrattuna. Nämä alueet olivat terssit välillä n. 400 Hz - 1 kHz ja toisaalta suuret taajuudet n. 5 kHz:stä lähtien. Edellisen alueen kasvun syynä on mitä ilmeisimmin nastojen muodostamien kuvioryhmien toistumistaajuus ja jälkimmäisen yksittäisten nastojen iskutaajuus (iskua aikayksikössä).

#### 6.4 Nopeuden vaikutus meluun

Taulukoista 7 ja 8 voidaan poimia esiin keskimääräinen nopeuden muutoksen vaikutus, mikä on esitetty taulukossa 12. Vaikutus on odotettua suuruusluokkaa. Se vastaa mittaustarkkuuden rajoissa muutosta, joka on käytössä myös tieliikennemelun laskentamalleissa. Nopeuden muutoksen vaikutus hieman hidastuu suuremmilla nopeuksilla, mikä on myös ennako-odotusten mukaista; yhtäsuurien suhteellisten muutosten tulisikin vastata yhtäsuuria äänitasojen muutoksia.

*Taulukko 12. Keskimääräiset nopeuden muutoksen vaikutukset äänitasoon.*

nopeuden muutos km/h	äänitason muutos dB
60 - 80	3,5
80 - 100	2,6
100 - 120	1,4

#### 6.5 Havaittujen erojen merkitys

##### 6.5.1 Suuremmat etäisyydet

Tässä tutkimuksessa mitattiin rengasmelua lähellä rengasta. Ehkä tärkein kysymys, mikä tutkimuksen tuloksena halutaan selvittää, on kuitenkin melu kauempana tiestä; etäisyyksillä, joilla meluhaittoja voi esiintyä. Tällaisen tarkastelun tekee kuitenkin, paitsi mahdolliseksi, myös varsin yksinkertaiseksi kaikkien mitattujen spektrien edellä mainittu erittäin samankaltainen muoto.

A-painotettuna spektrien maksimi osui kaikissa tapauksissa 1 kHz:n oktaaville ja lähes kaikissa edelleen 1 kHz:n terssille. Toisin sanoen kokonais-A-tason määrää teho 1 kHz:n oktaavikaistalla.

Yleisessä tapauksessa eri renkaiden meluisuus ja paremmuusjärjestys voisi muuttua kauempana tiestä, jos spektrin ja etenemisvaimennuksen taajuusriippuvuudet poikkeaisivat tuntuvasti toisistaan. Taajuudesta riippuvan etenemisvaimennuksen suuremmille etäisyyksille voivat aiheuttaa mahdollisesti esiintyvät pehmeän maan

vaimennus ja estevaimennus. Geometrinen leviäminen on sama kaikille taajuuksille.

Kuvan 6 erilaisille spektreille tehtiin simulointilaskelmat vaimennuksien vaikutuksen tarkistamiseksi. Laskennassa käytettiin voimakkaita maa- ja estevaimennuksia, jotka vastaavat ääritapauksia tieliikennemelun laskentamallissa. Vaimennuksia simuloivat suotimet olivat samoja kuin viitteessä [8] käytetyt.

Tässä tapauksessa kuitenkin rengasmelun spektrien keskittyminen 1 kHz:n ympärille (A-painotettuna) on niin voimakas, että mainituilla etenemisvaimennuksilla ei ole vaikutusta kokonaistasoihin kauempana. Laskelmien tulokset osoittivat että A-tasojen järjestys ja erot säilyivät muuttumattomina.

#### 6.5.2 Rakennusten sisätilat

Eteneminen rakennusten ulkoseinän läpi sisälle tapahtuu melun kannalta samalla tavoin kuin edellä spektriä muuttaen. Ulkoseinän äänieristyksellä on taajuusriippuvuus, joka painottaa spektrejä vastaavasti. Ulkoseinien vaimennus on taajuuden suhteen yleensä keskimäärin rauhallinen ja tasainen, vaikkakin pieniä taajuuksia korostava.

Äänieristyksen vaikutusta simuloitiin samanlaisella laskelmalla kuin yllä. Keskimääräisenä vaimennuksena taajuuden suhteen käytettiin tasaisesti 6 dB/oktaavi kasvavaa eristävyyttä. Simulointilaskelmat osoittivat tässäkin tapauksessa, että rengasmelun spektrin keskittyminen 1 kHz:n ympärille jää määrääväksi tekijäksi A-tasojen muodostumisessa sisätiloissa ja että A-tasojen järjestys ja erot eivät muuttuneet.

On huomattava, että tämän ja edellisen kohdan tarkastelu koskee siis vain rengasmelun osuutta ajoneuvojen kokonaismelusta. Noin 500 Hz:n alapuolella melun valitseva osuus on peräisin moottorista ja voimansiirrosta. Etenemis- ja ulkoseinävaimennus saattaa hyvin muuttaa tätä osuutta edellisestä poikkeavalla tavalla.

### 7

#### YHTEENVETO

Tämän esitutkimuksen keskeiset tulokset voidaan tiivistää seuraaviksi neljäksi numerotiedoksi:

- Eri päällystetyyppien erot vaihtelivat välillä 4 - 5 dB. Suuri osa vakiopäällysteistä erosi kuitenkin toisistaan tätä vähemmän.
- Talven aikana päällysteiden meluisuus lisääntyi keskimäärin 1 - 2 dB. Tulokseen on kuitenkin voinut vaikuttaa olosuhteet syksyn mittauksissa; todellinen muutos on voinut olla tätä pienempi.



- Nastarengas oli 3 - 4 dB meluisampi kuin kesärengas, mikä vastaa aiempaa tietämystä.
- Nopeuden kasvu portain 60 - 80 - 100 - 120 km/h lisäsi melua 2 - 3 dB jokaista 20 km/h lisäystä kohti. Tämä on sopusoinnussa aiempien tietojen kanssa.

Rengasmelun spektri oli niin samanlainen kaikilla päällysteillä, että eri päällysteiden järjestys ei muutu kauempanakaan tiestä tai rakennusten sisällä kuultuna. Kaikkien spektrien maksimi osui A-painotettuna 1 kHz:n terssikaistalle.

Meluominaisuuksiltaan parhaaksi päällysteeksi osoitautui uusi ja pinnaltaan sileä AB-päällyste. Betonitie kuului meluisimpien joukkoon, ja sen äänensävy poikkesi asfalttipäällysteistä, korkeiden äänien korostuessa. Kumiasfaltti erosi äänensävyltään vastakkaiseen, matalia ääniä korostavaan suuntaan, mutta se ei eronnut kokonaistasoltaan muista päällysteistä.

#### VIITTEET

1. SANDBERG U & EJSMONT J A, Tire/road noise - A subject of international concern. *INTER-NOISE 88*, Avignon 1988, 1309-1314.
2. LUCQUIAUD R, Outside vehicle noise and surface characteristics. *INTER-NOISE 88*, Avignon 1988, 1335-1338.
3. CHALUPNÍK J D & ANDERSON D S, Effects of roadway aging on tire/road noise. *INTER-NOISE 88*, Avignon 1988, 1331-1334.
4. SANDBERG U & EJSMONT J A, Development of three methods for measurement of tire/road noise emission: coast-by, trailer and laboratory drum. *Noise Control Eng J* 27(1986)3, 68-88.
5. NILSSON N-Å & BENNERHULT O, Tire/road noise generating mechanisms - an experimental study. Measurement methods. *IFM Akustikbyrå AB, Research Report 6.084.01*, Stockholm 1979.
6. HAJEK J J, KWAN L & BLANEY C T, Comparison of tire/pavement noise measurement methods. *INTER-NOISE 82*, San Francisco 1982, 119-122.
7. BROCK M, Wind and turbulence noise of turbulence screen, nose cone and sound intensity probe with windscreen. *B&K Tech Rev* 1986:4, 32-39.
8. HELLE S & TUOMINEN H T, Liikennemeludemonstraatio Heurekaassa. *Akustiikkapäivä 1989, esitelmät*. Akustinen Seura, Vantaa 1989, 90-95.

## LIITE

## Mittaustulokset terssikaistoittain

## Syksy 1989

-	tulokset kohteittain	kuvat 7 - 21
-	nasta- ja kesärengasvertailu	kuvat 22 - 24
-	päällysteparien vertailu	kuvat 25 - 30

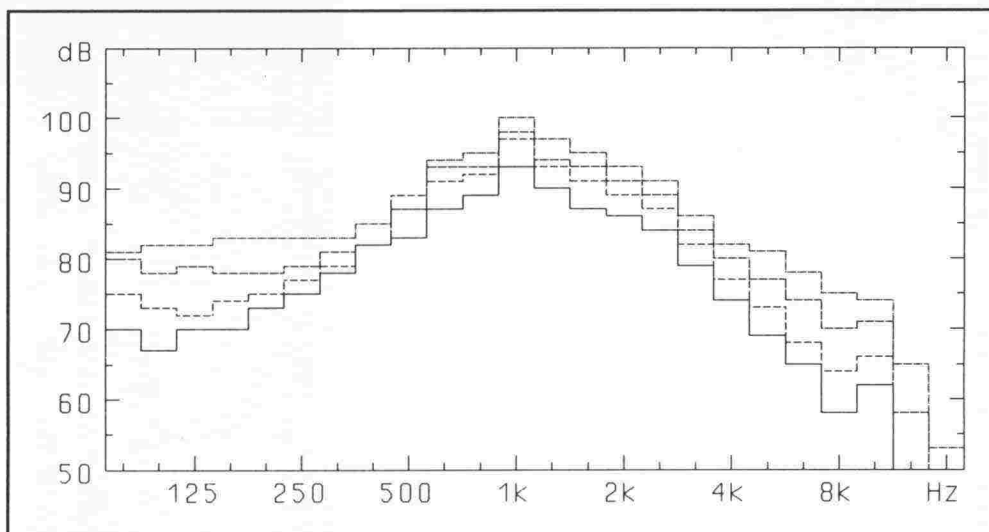
## Kevät 1989

-	tulokset kohteittain	kuvat 31 - 44
-	päällysteparien vertailu	kuvat 45 - 49

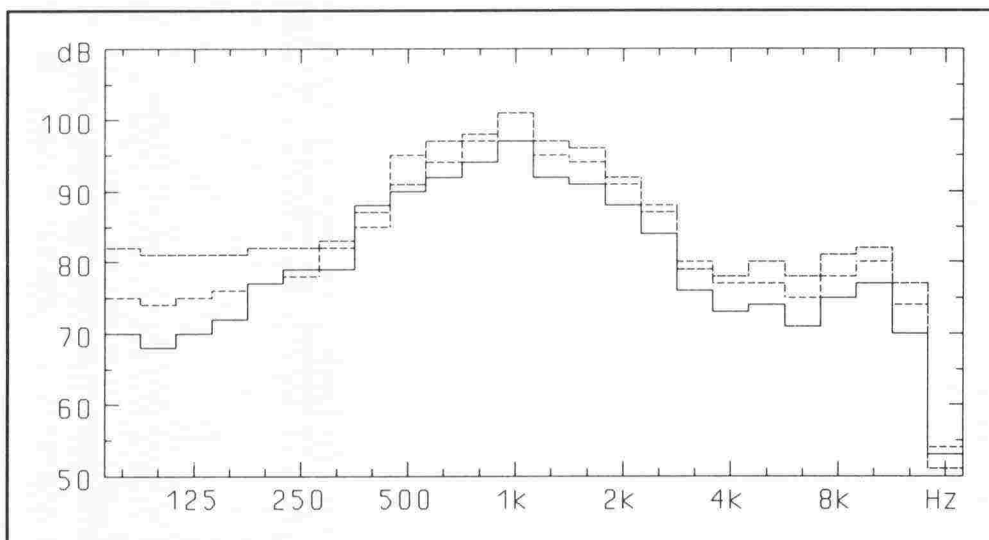
## Hetkelliset äänitasot ajan funktiona, syksy 1989

Nasta- ja kesärengasvertailu	kuvat 50 - 52
Kokeiluosuuksien tulokset	kuvat 53 - 58

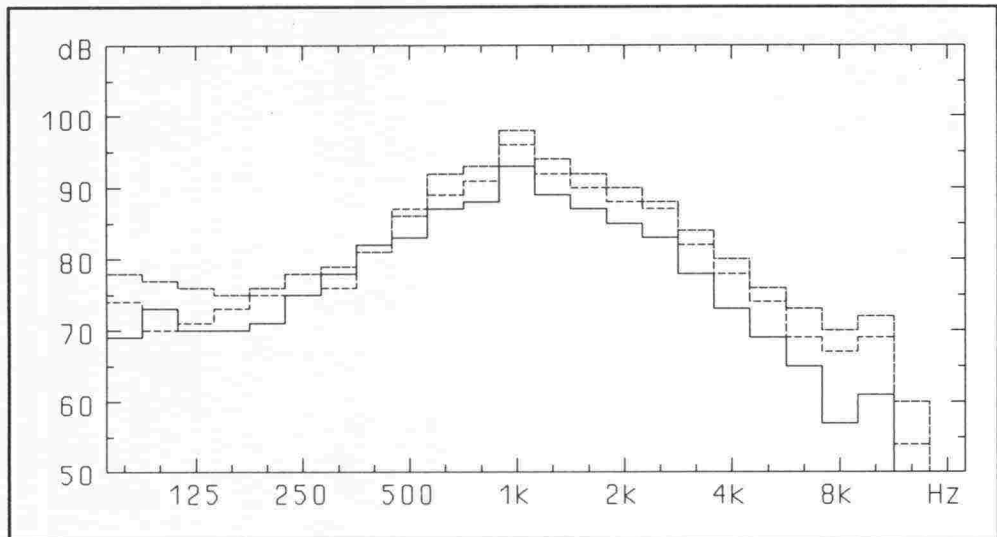




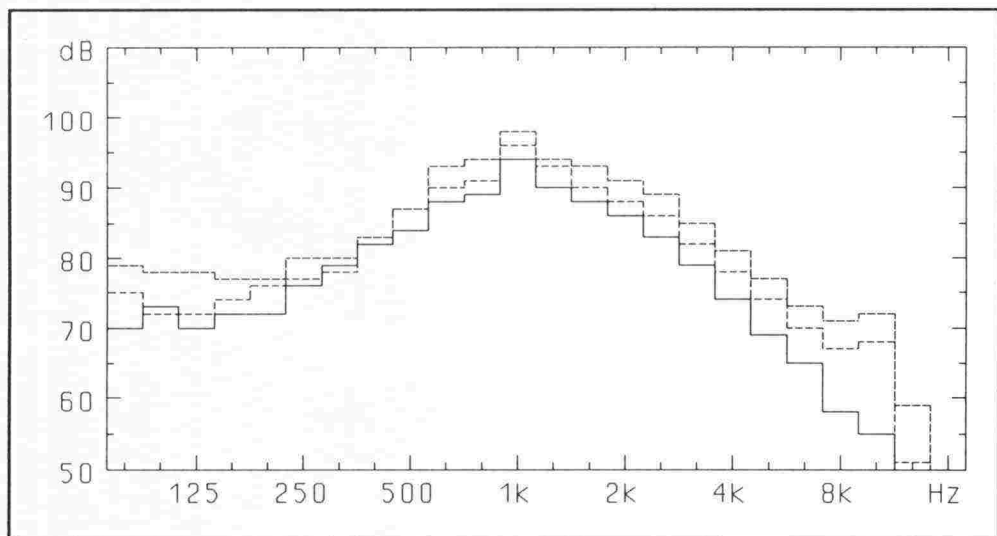
*Kuva 7. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä), kesärengas.  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 - 120 km/h.*



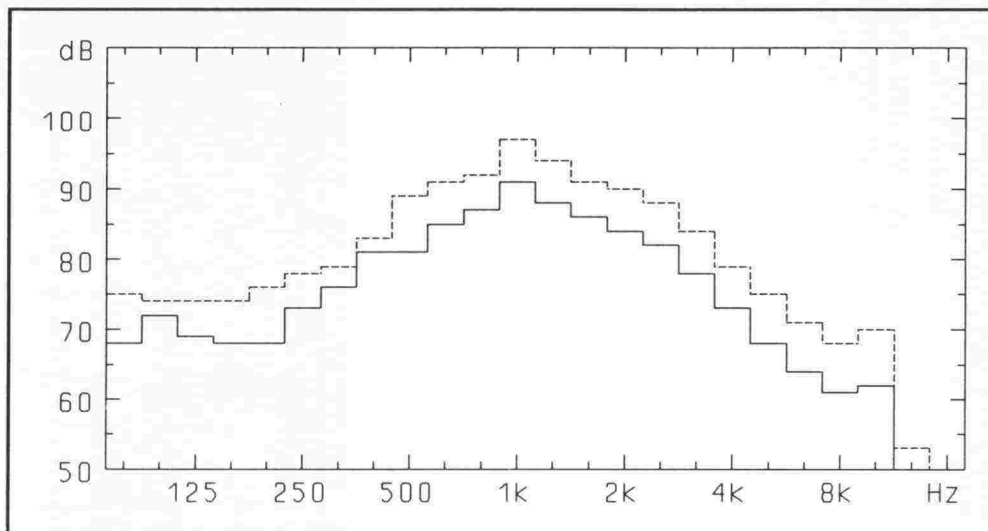
*Kuva 8. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä), nastarengas.  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



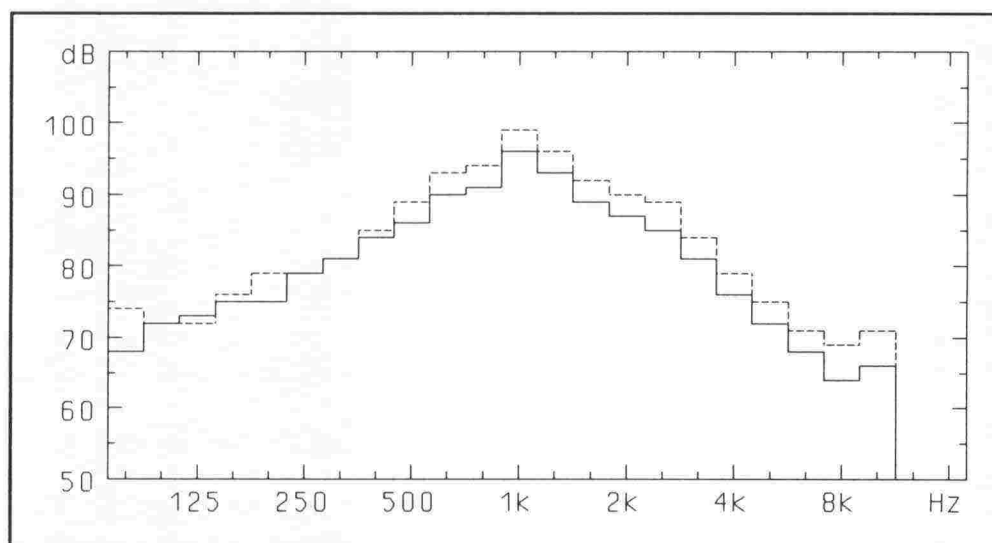
*Kuva 9. Syksy, kohde 2 (Turunväylä A).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



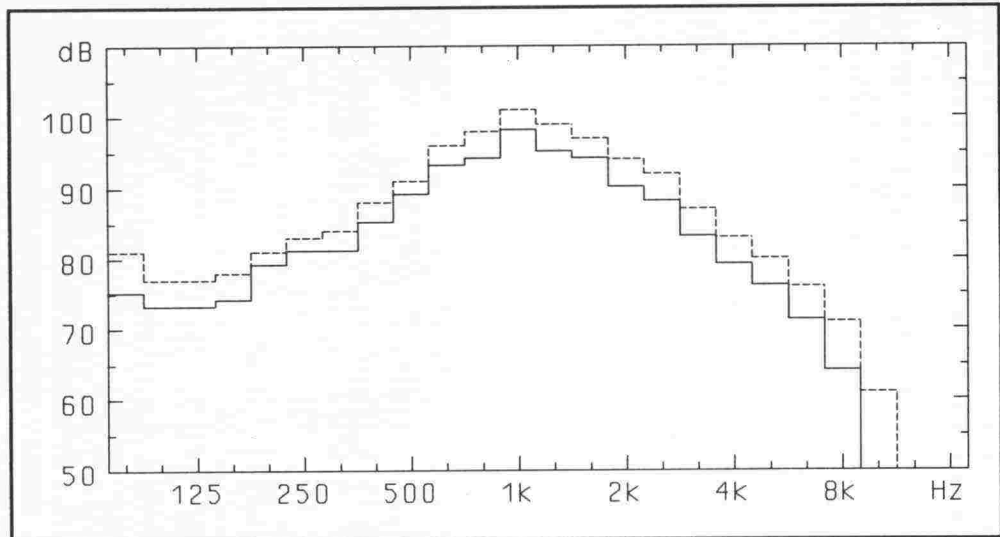
*Kuva 10. Syksy, kohde 3 (Turunväylä B).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



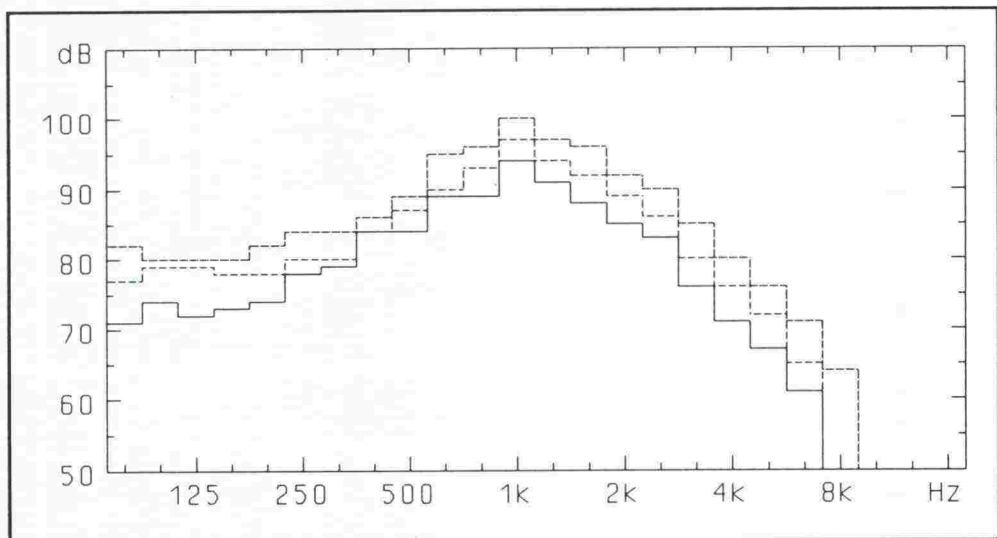
*Kuva 11. Syksy, kohde 4 (Kehä III).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*



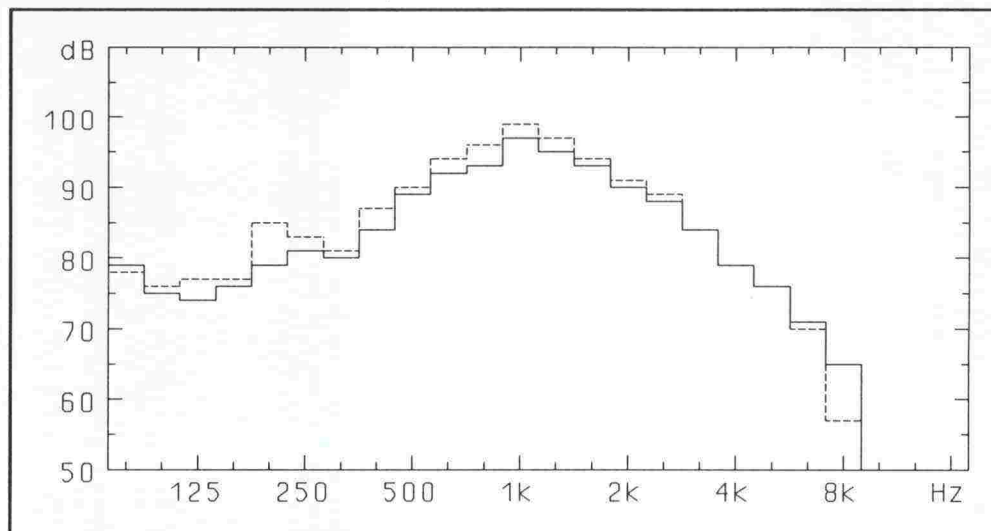
*Kuva 12. Syksy, kohde 5 (Hämeenlinnanväylä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*



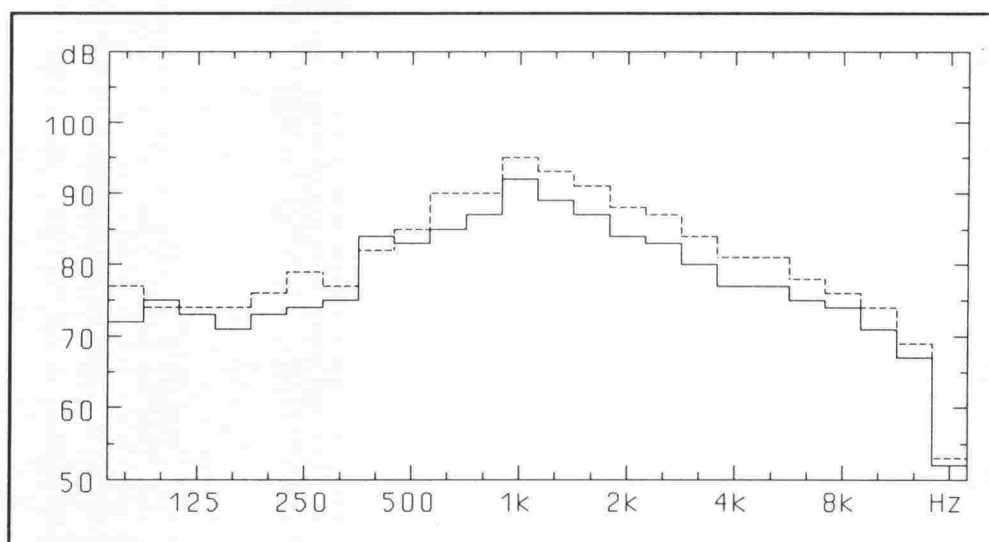
**Kuva 13. Syksy, kohde 6 (Lahdenväylä).**  
**Nopeuden vaikutus: 80 - 100 km/h.**



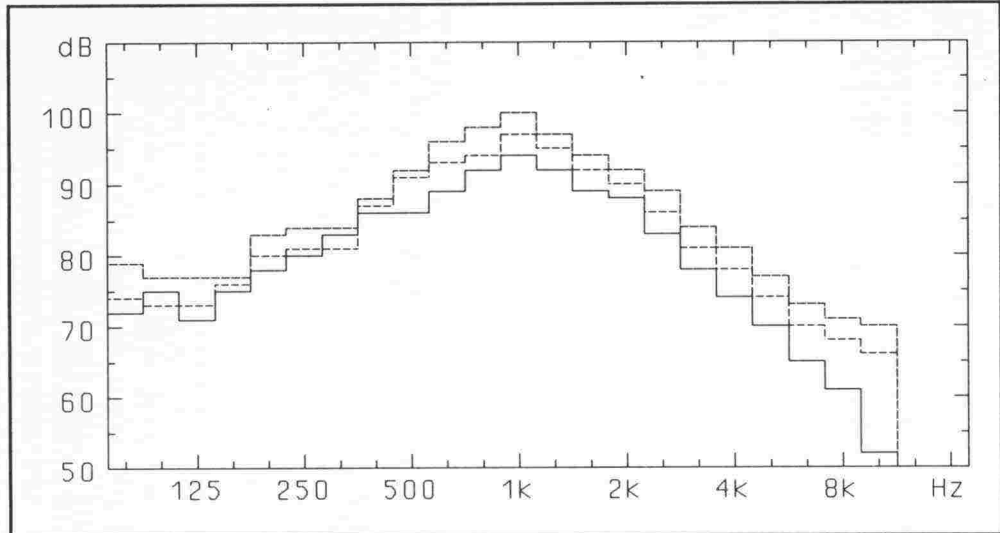
**Kuva 14. Syksy, kohde 7 (Tuusula).**  
**Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.**



*Kuva 15. Syksy, kohde 8 (Hyvinkää A, Vt 3).  
Nopeus: 80 km/h.  
Ero sileiden ajourien ja niiden vieressä olleen  
karkeamman (jyrsintäurat jäljellä) pinnan välillä.*

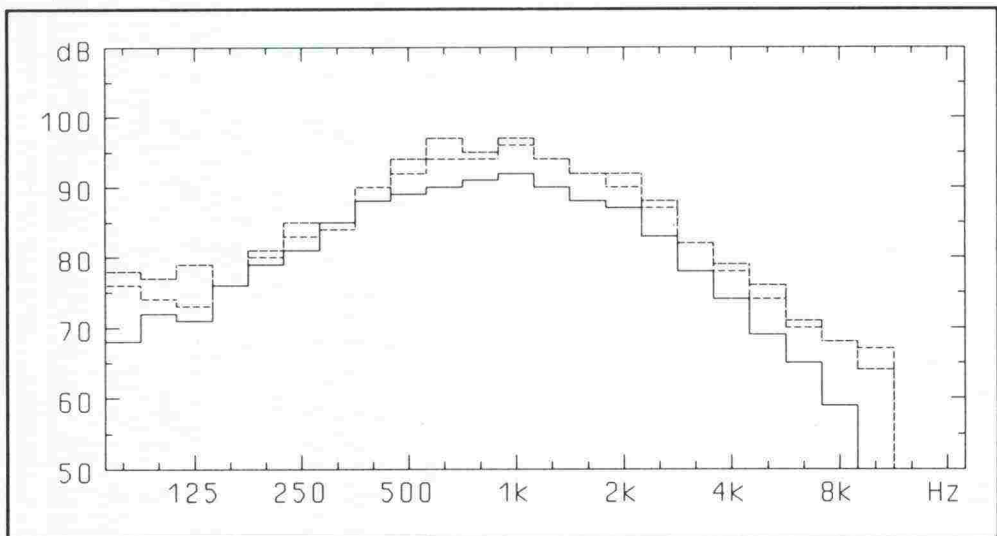


*Kuva 16. Syksy, kohde 9 (Hyvinkää B, ohitustie).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*



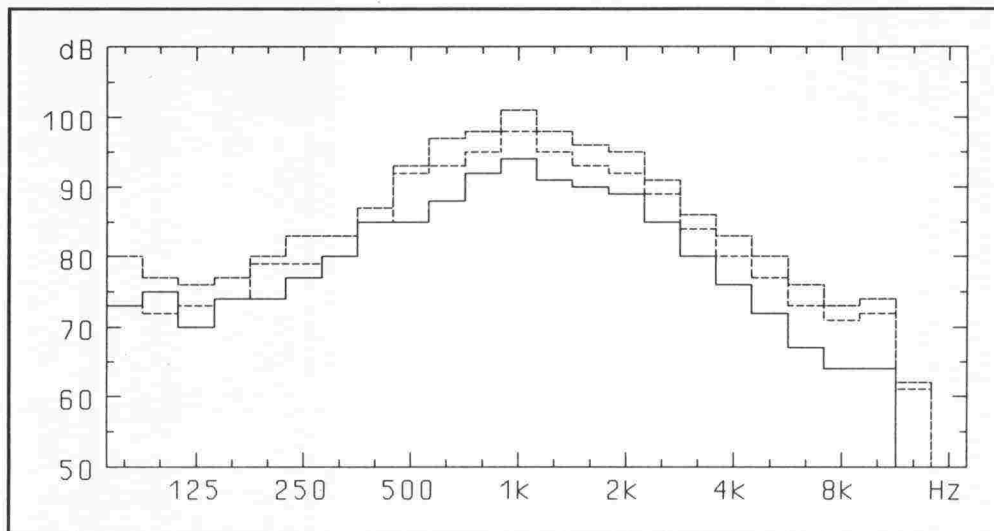
**Kuva 17. Syksy, kohde 10a (Valkeakoski, kumiasfaltti, osuus a).**

**Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.**

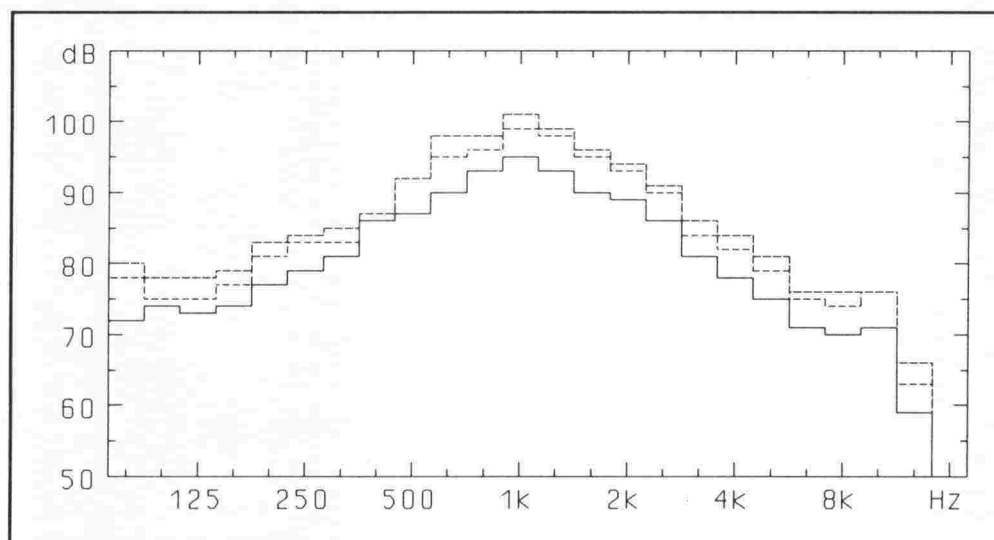


**Kuva 18. Syksy, kohde 10b (Valkeakoski, kumiasfaltti, osuus b).**

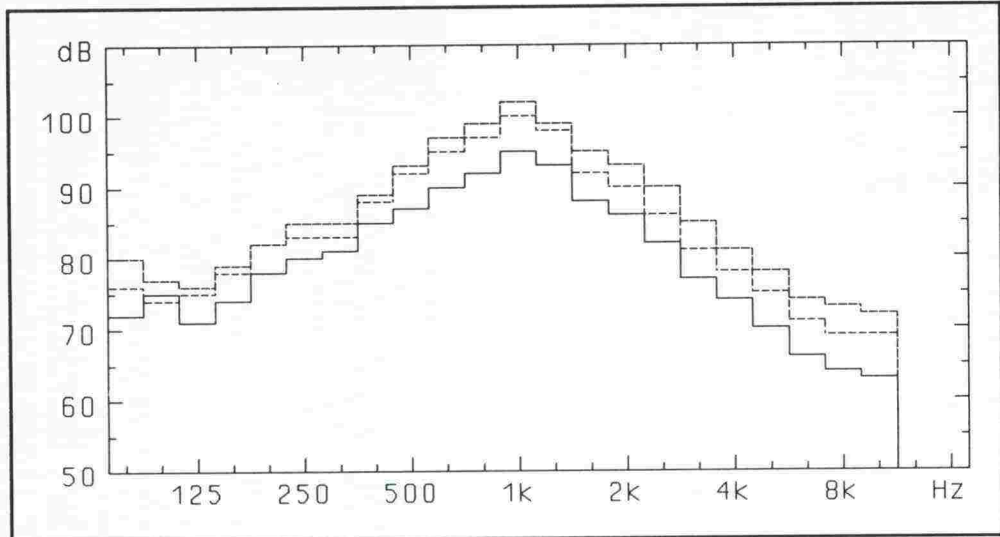
**Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.**



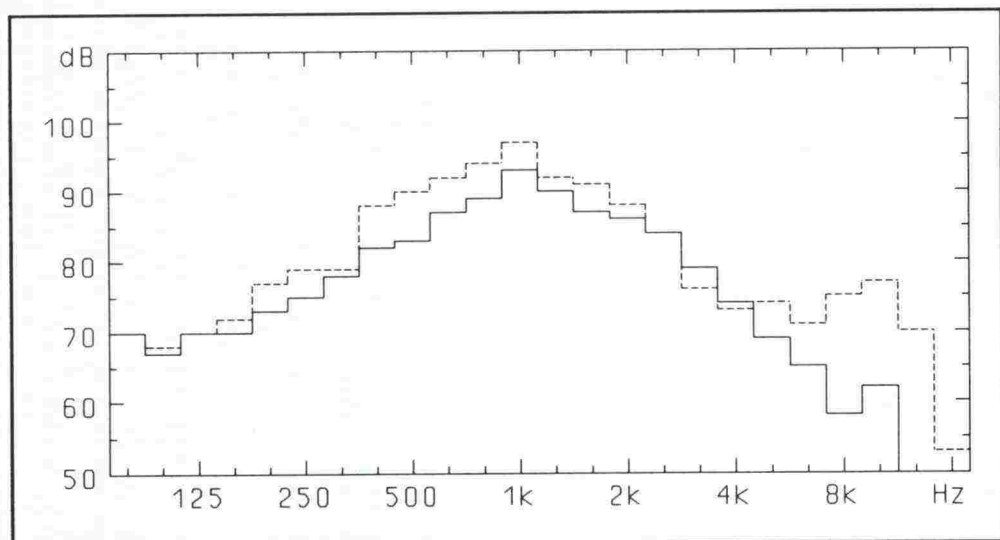
Kuva 19. Syksy, kohde 11 (Lempäälä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.



Kuva 20. Syksy, kohde 12 (Pirkkala A, betoni).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.

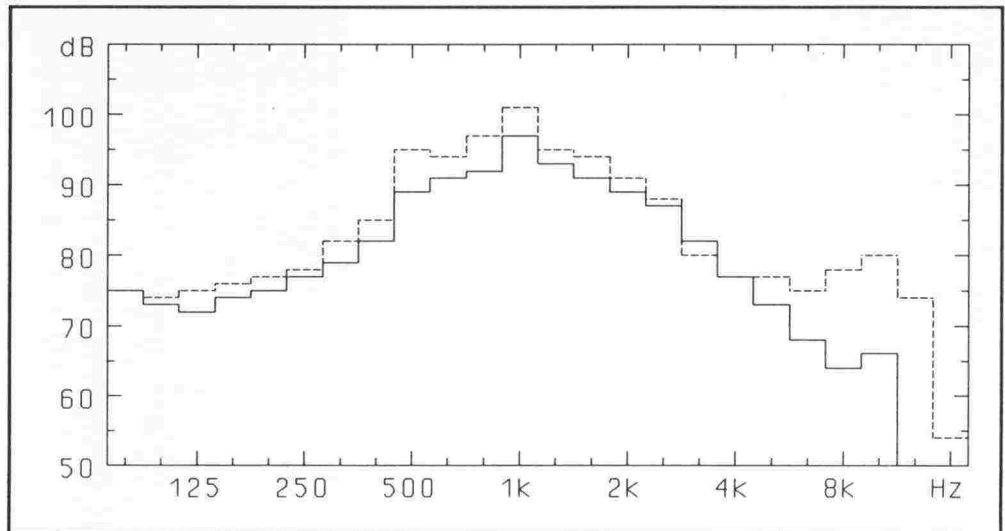


*Kuva 21. Syksy, kohde 13 (Pirkkala B, asfaltti).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*

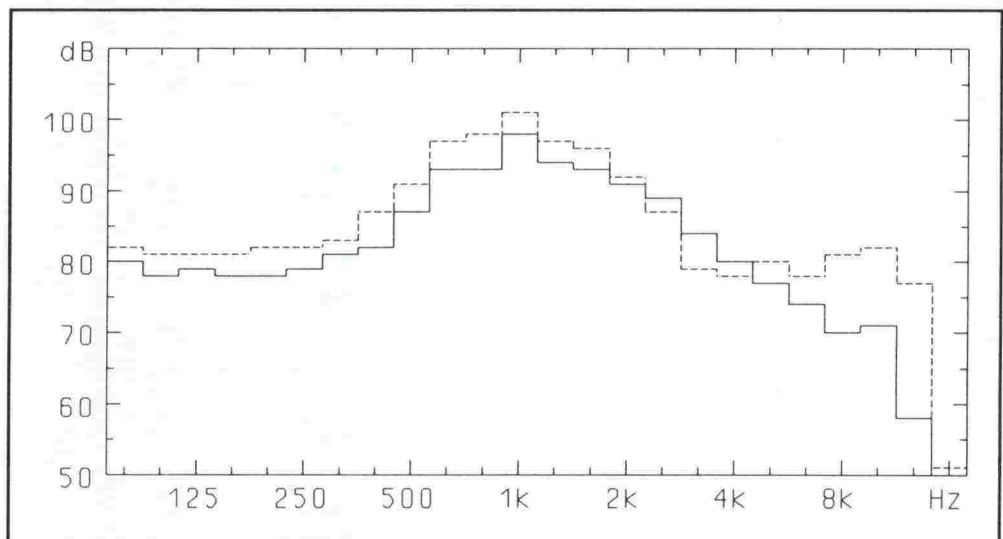


*Kuva 22. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä).  
Nopeus: 60 km/h.  
Vertailu kesä- ja nastarenkaan välillä.*

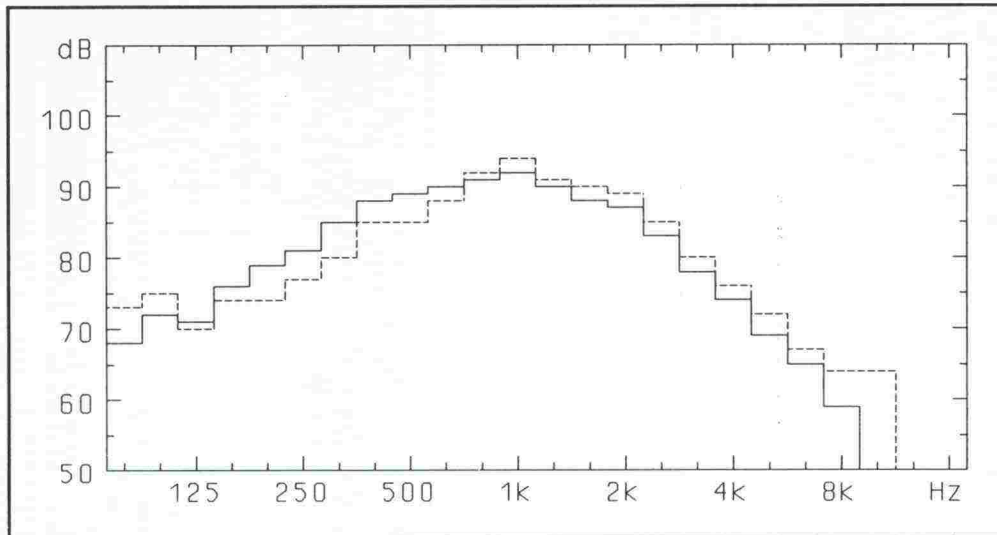




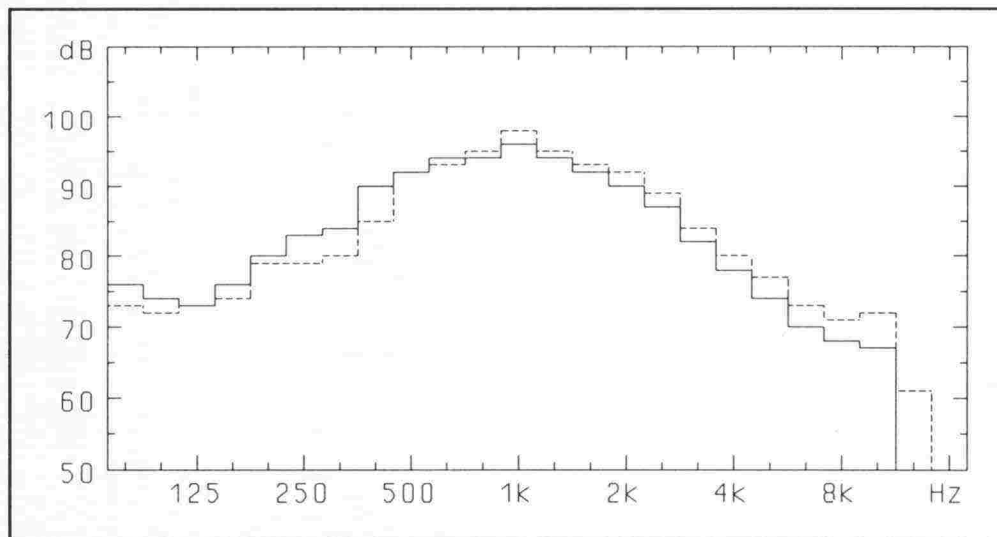
Kuva 23. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä).  
Nopeus: 80 km/h.  
Vertailu kesä- ja nastarenkaan välillä.



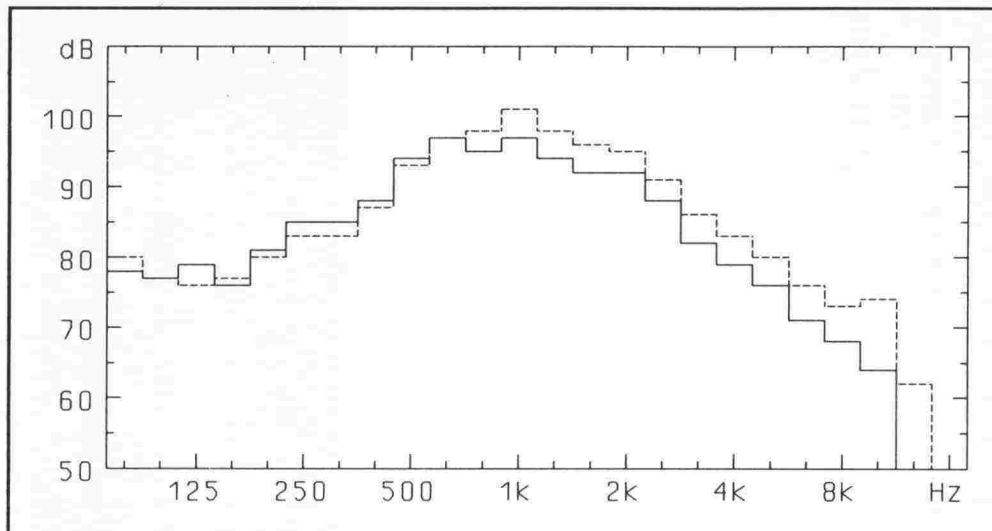
Kuva 24. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä).  
Nopeus: 100 km/h.  
Vertailu kesä- ja nastarenkaan välillä.



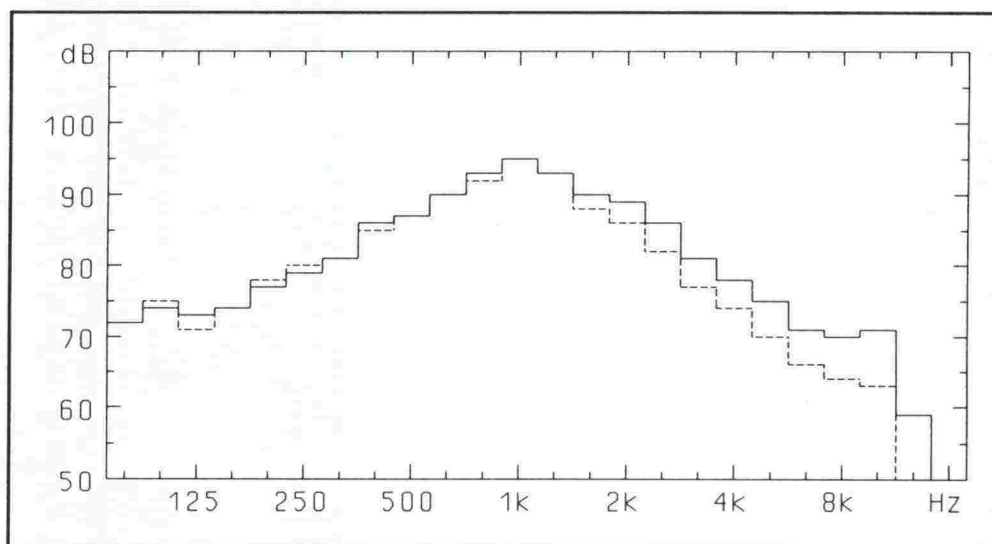
Kuva 25. Syksy, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 60 km/h. Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.



Kuva 26. Syksy, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 80 km/h. Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.

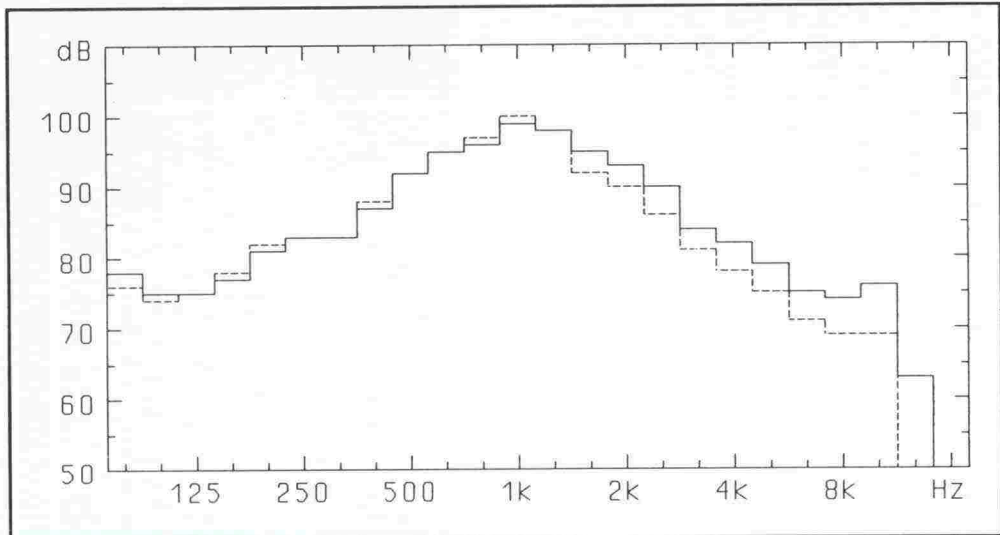


Kuva 27. Syksy, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 100 km/h. Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.

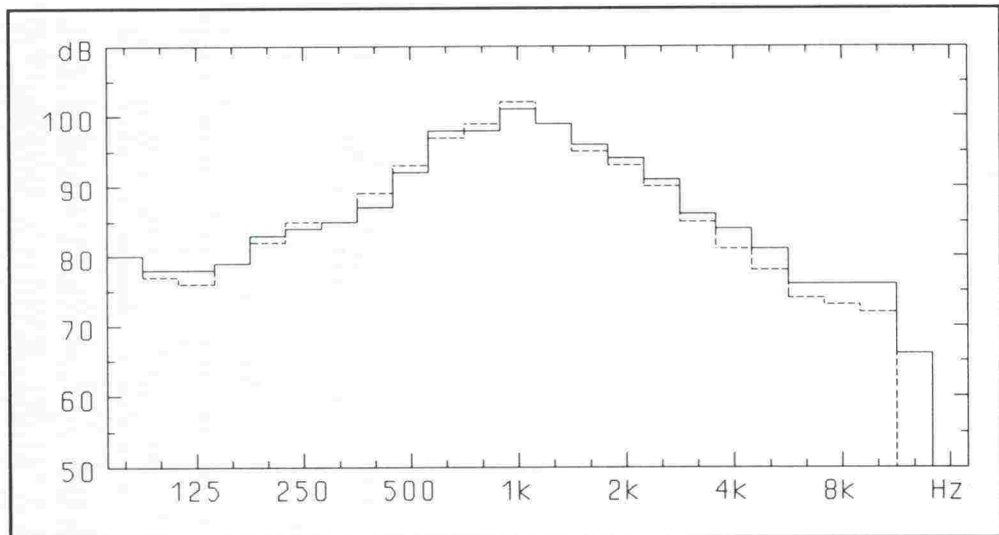


Kuva 28. Syksy, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B). Nopeus: 60 km/h. Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.

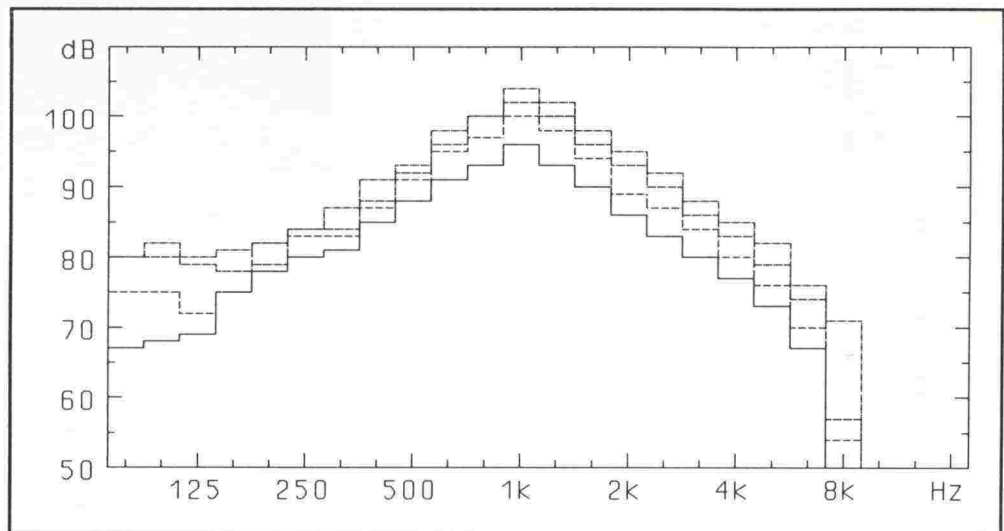




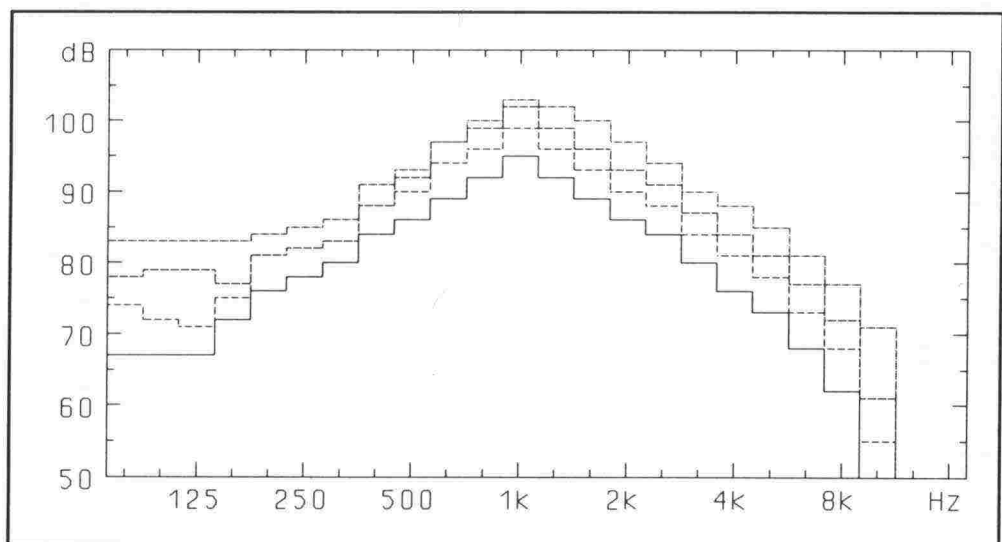
Kuva 29. Syksy, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B).  
Nopeus: 80 km/h.  
Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.



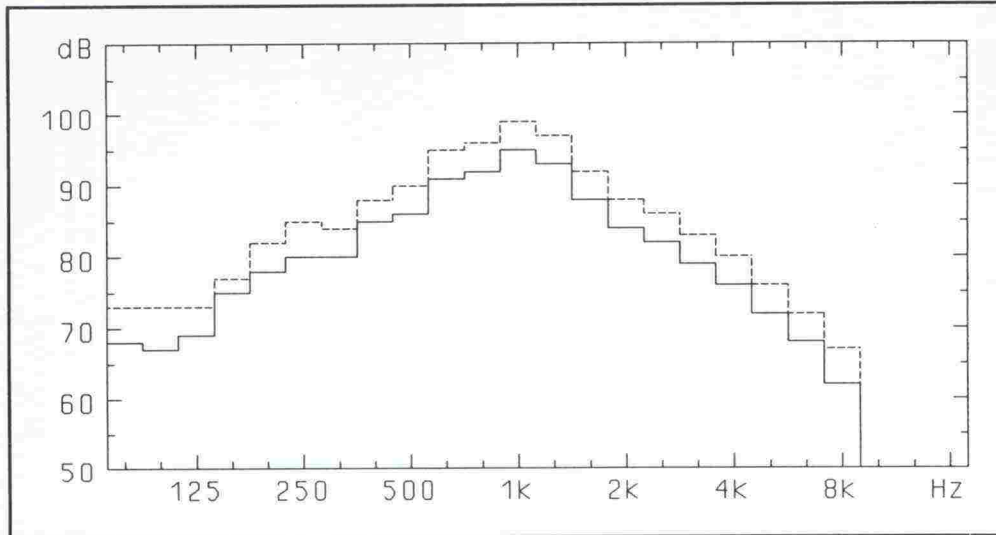
Kuva 30. Syksy, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B).  
Nopeus: 100 km/h.  
Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.



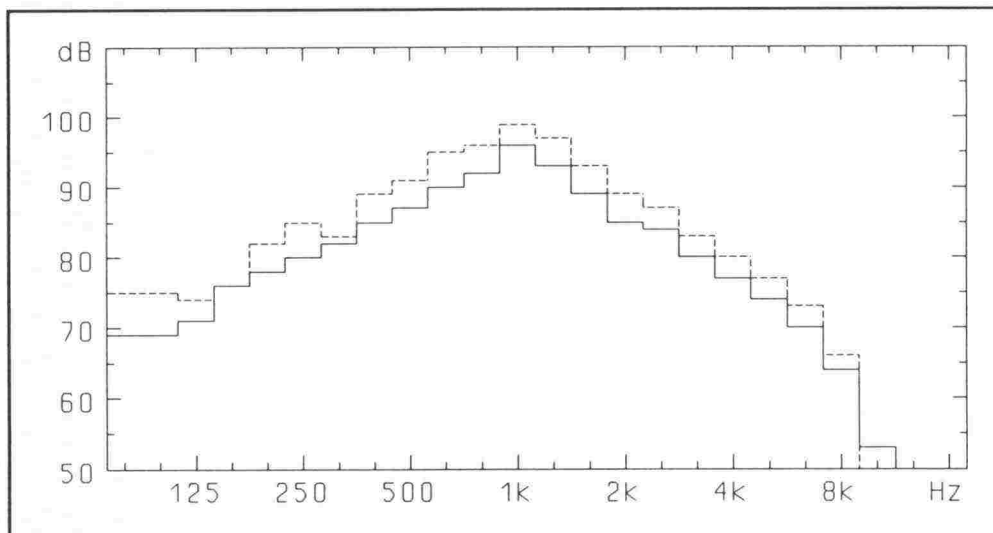
*Kuva 31. Kevät, kohde 1 (Länsiväylä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 - 120 km/h.*



*Kuva 32. Kevät, kohde 2 (Turunväylä A).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 - 120 km/h.*

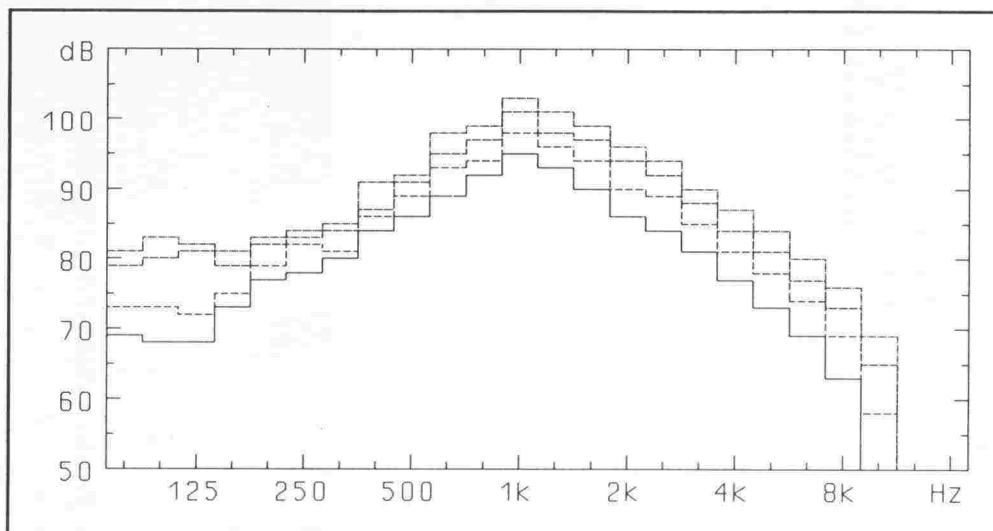


*Kuva 33. Kevät, kohde 4 (Kehä III).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*

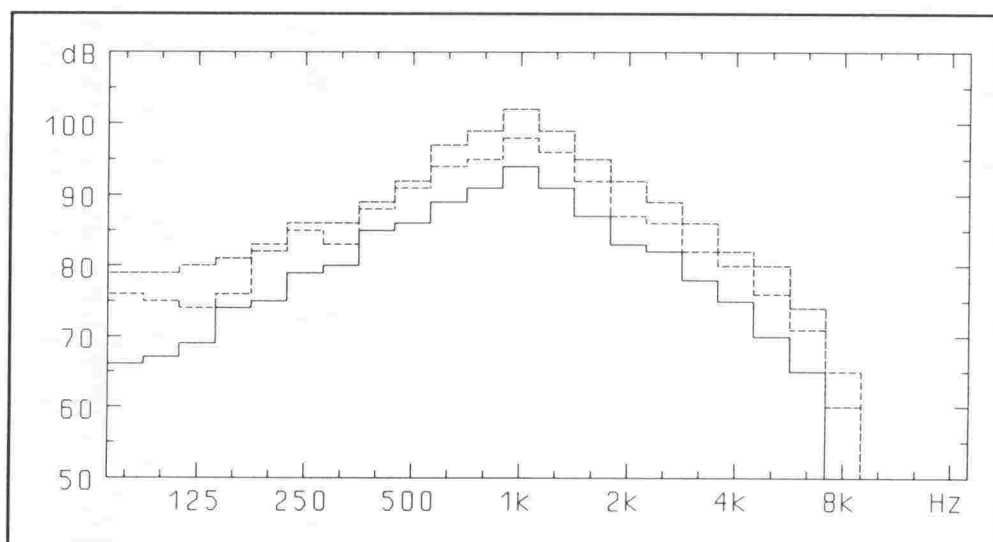


*Kuva 34. Kevät, kohde 5 (Hämeenlinnanväylä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*

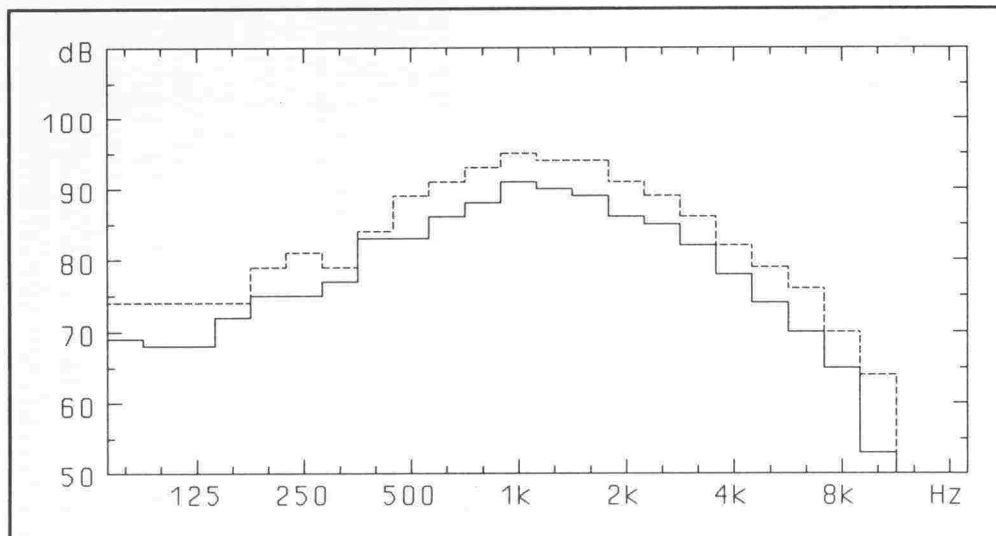




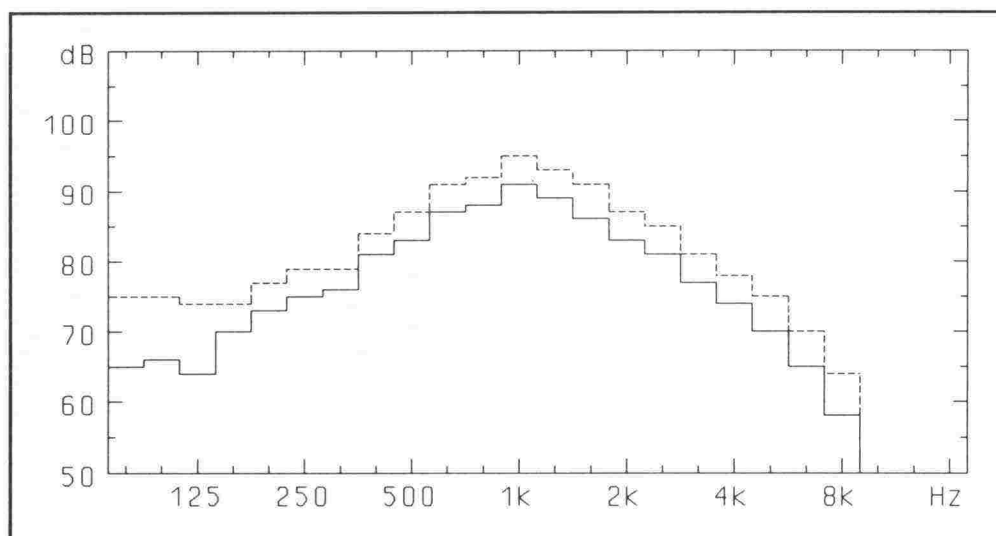
*Kuva 35. Kevät, kohde 6 (Lahdenväylä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 - 120 km/h.*



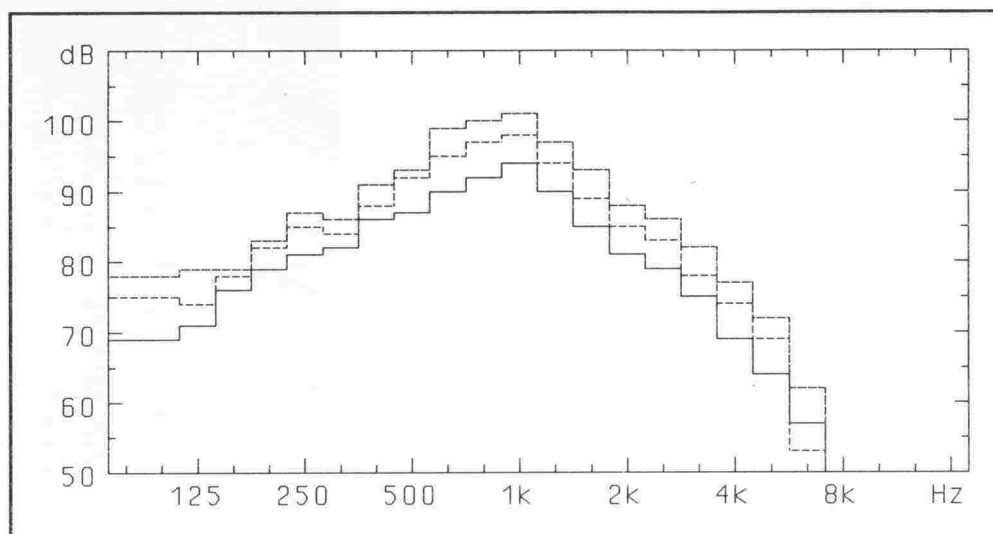
*Kuva 36. Kevät, kohde 7 (Tuusula).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



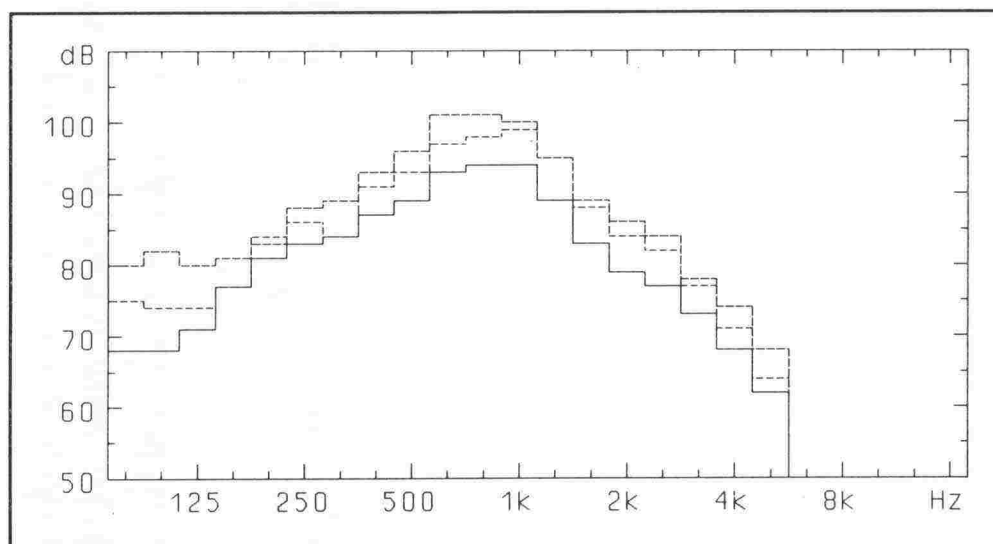
*Kuva 37. Kevät, kohde 8 (Hyvinkää A, Vt 3).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*



*Kuva 38. Kevät, kohde 9 (Hyvinkää B, ohitustie).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 km/h.*

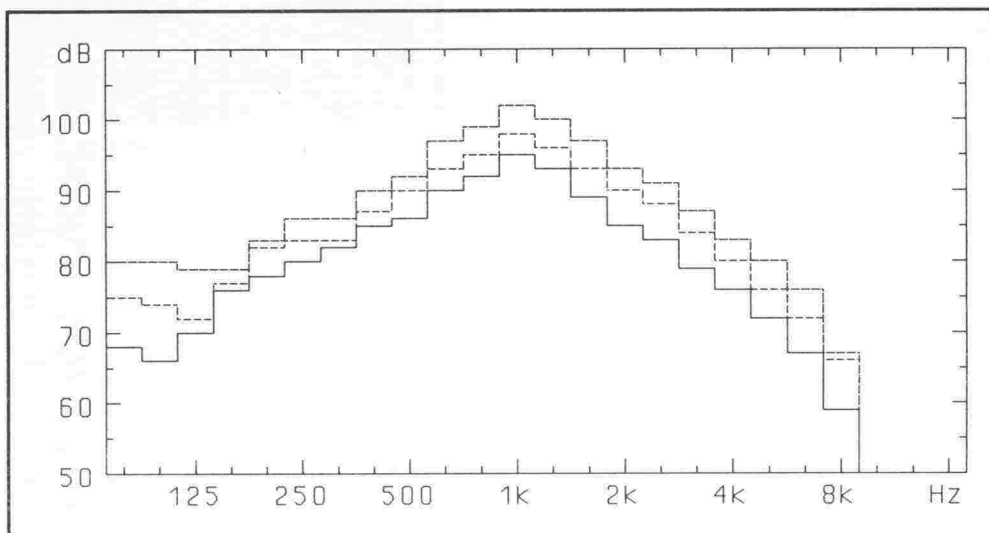


*Kuva 39. Kevät, kohde 10a (Valkeakoski, kumiasfaltti, osuus a).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*

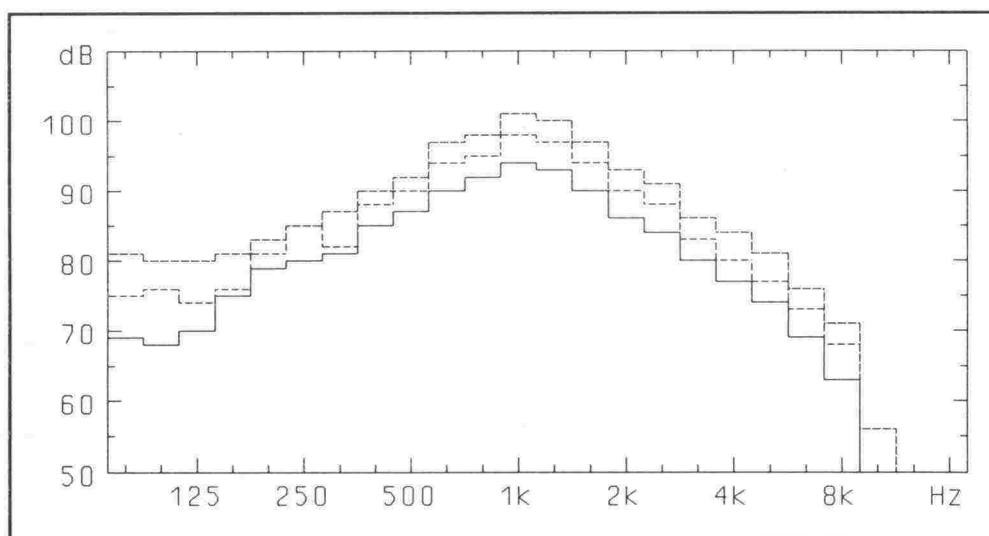


*Kuva 40. Kevät, kohde 10b (Valkeakoski, kumiasfaltti, osuus b).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*

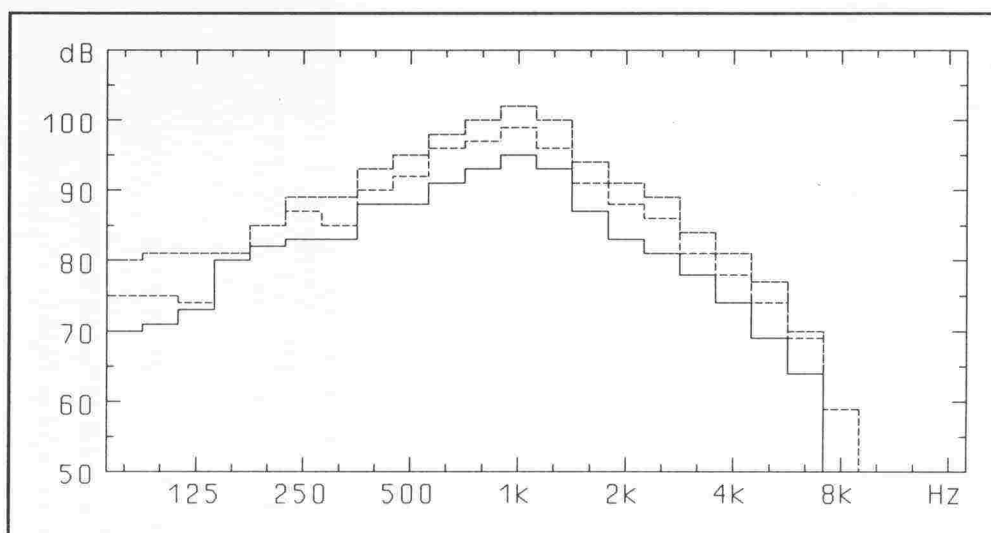




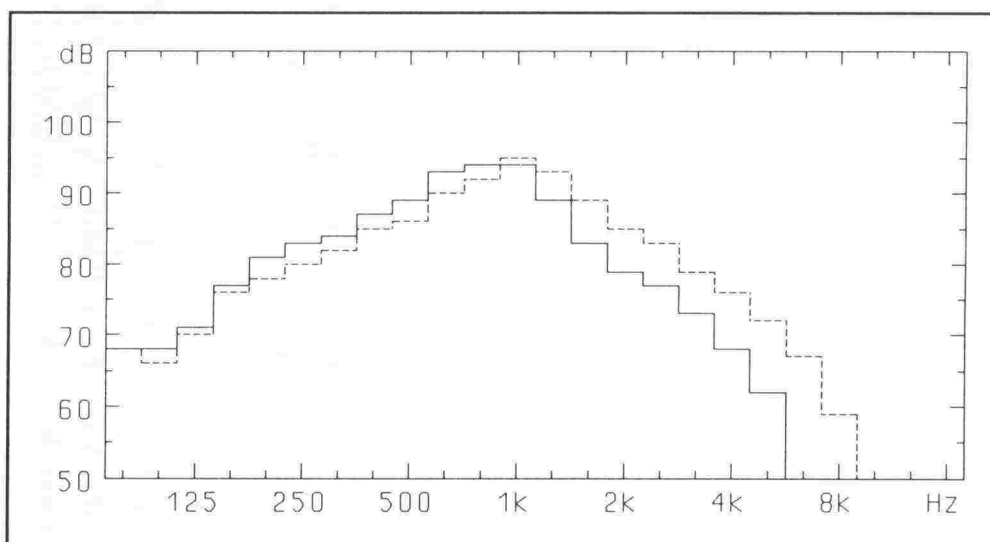
*Kuva 41. Kevät, kohde 11 (Lempäälä).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



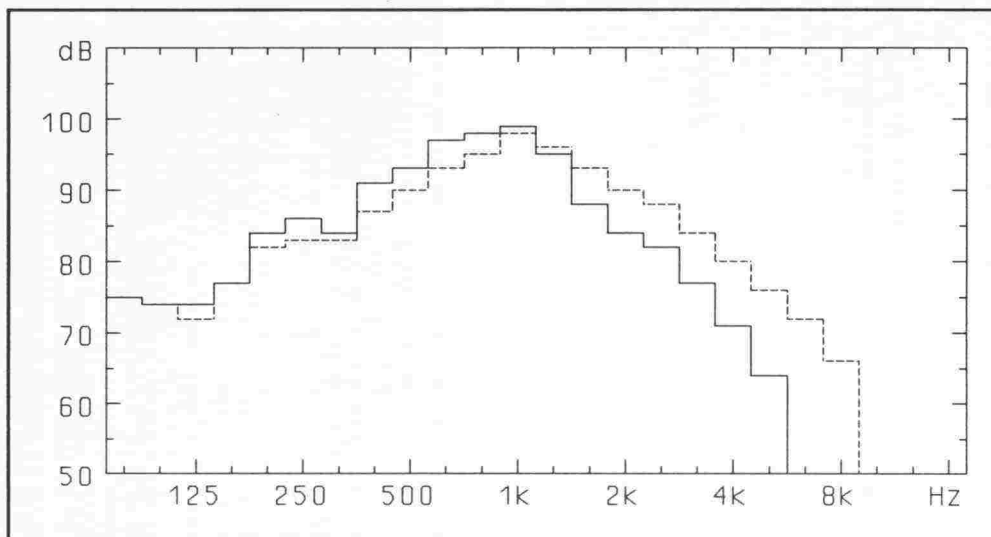
*Kuva 42. Kevät, kohde 12 (Pirkkala A, betoni).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.*



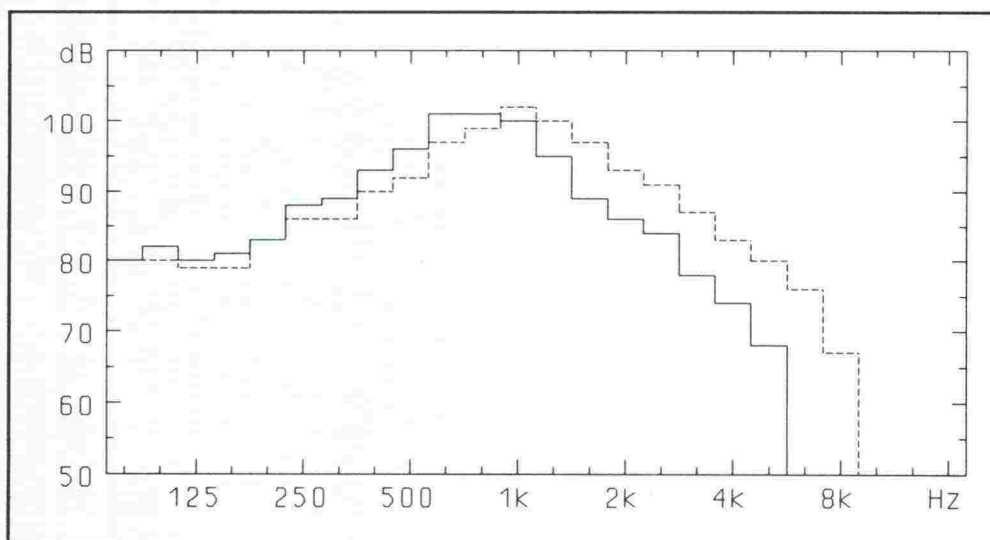
Kuva 43. Kevät, kohde 13 (Pirkkala B, asfaltti).  
Nopeuden vaikutus: 60 - 80 - 100 km/h.



Kuva 44. Kevät, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 60 km/h.  
Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.

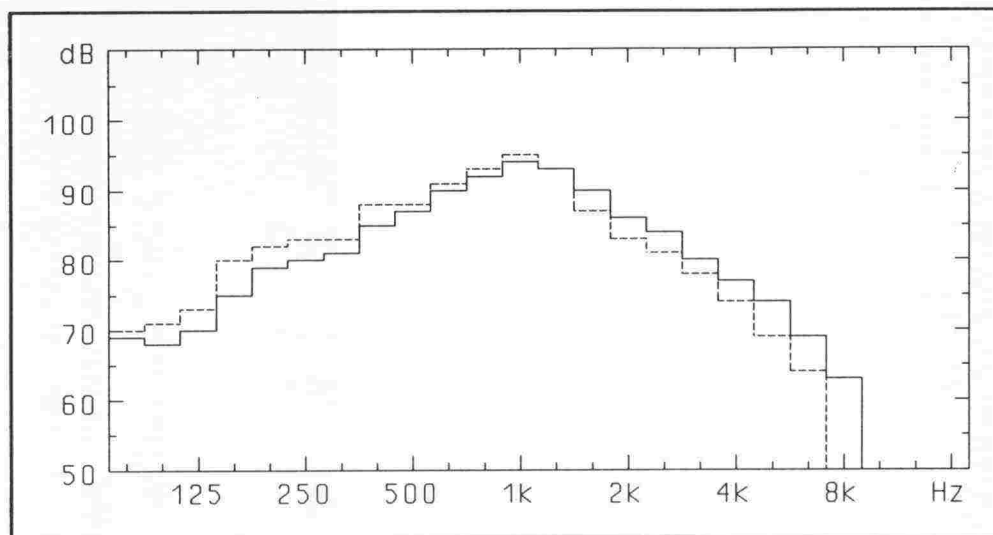


Kuva 45. Kevät, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 80 km/h. Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.

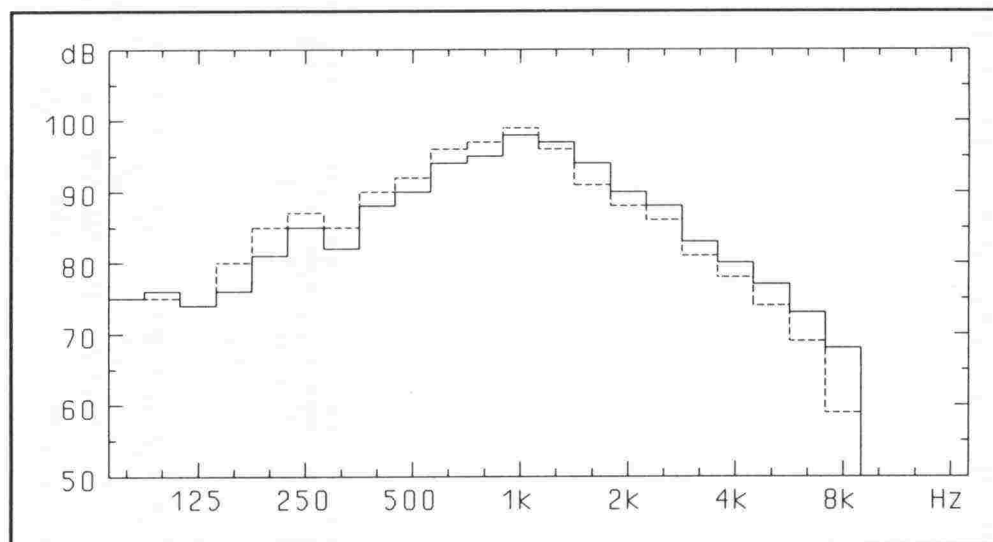


Kuva 46. Kevät, kohteet 10b ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä). Nopeus: 100 km/h. Vertailu kumi- (ehjä) ja tavallisen asfaltin (katko) välillä.

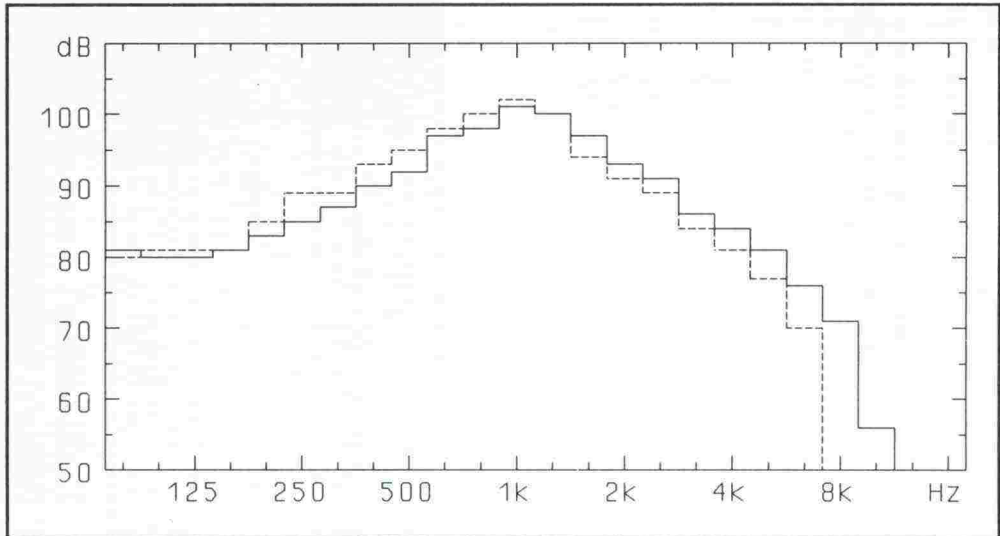




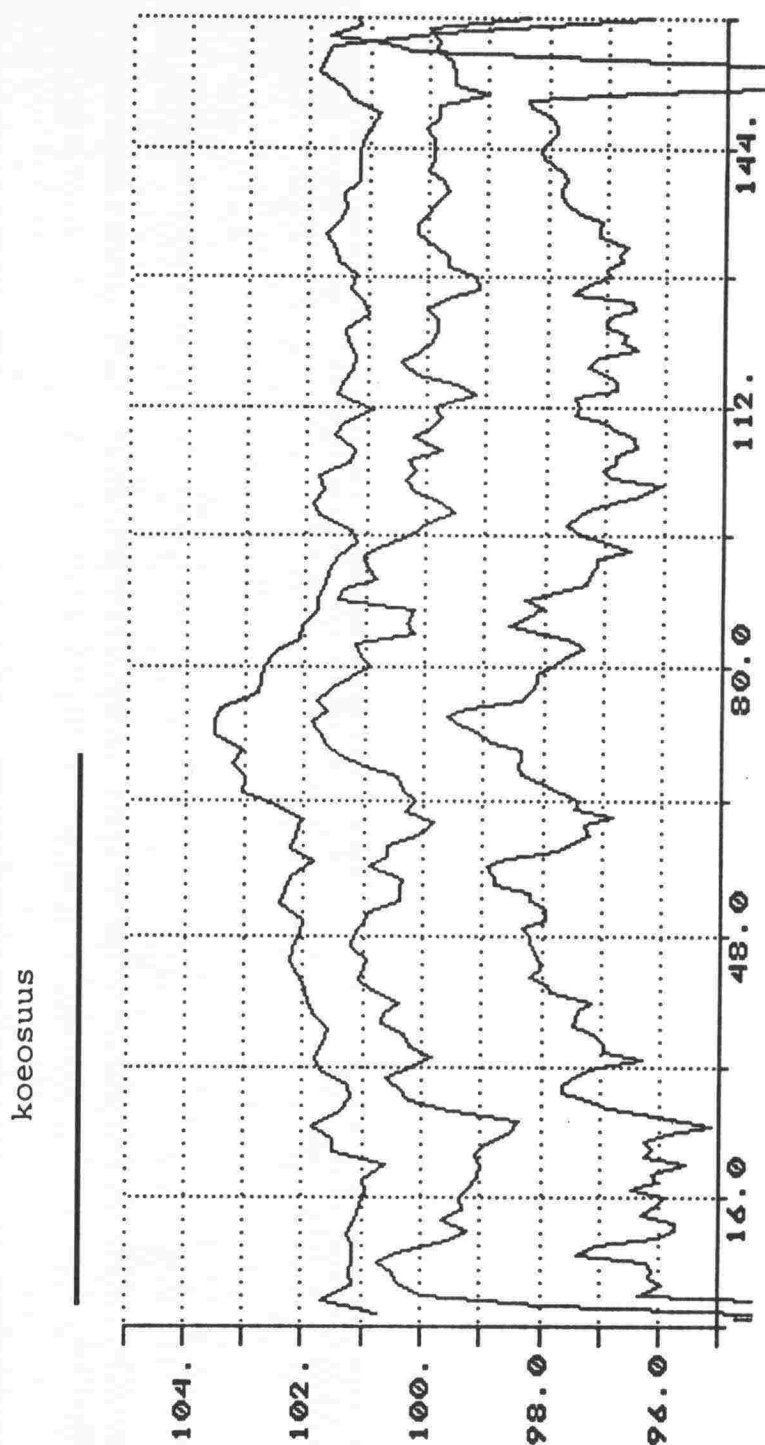
Kuva 47. Kevät, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B).  
Nopeus: 60 km/h.  
Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.



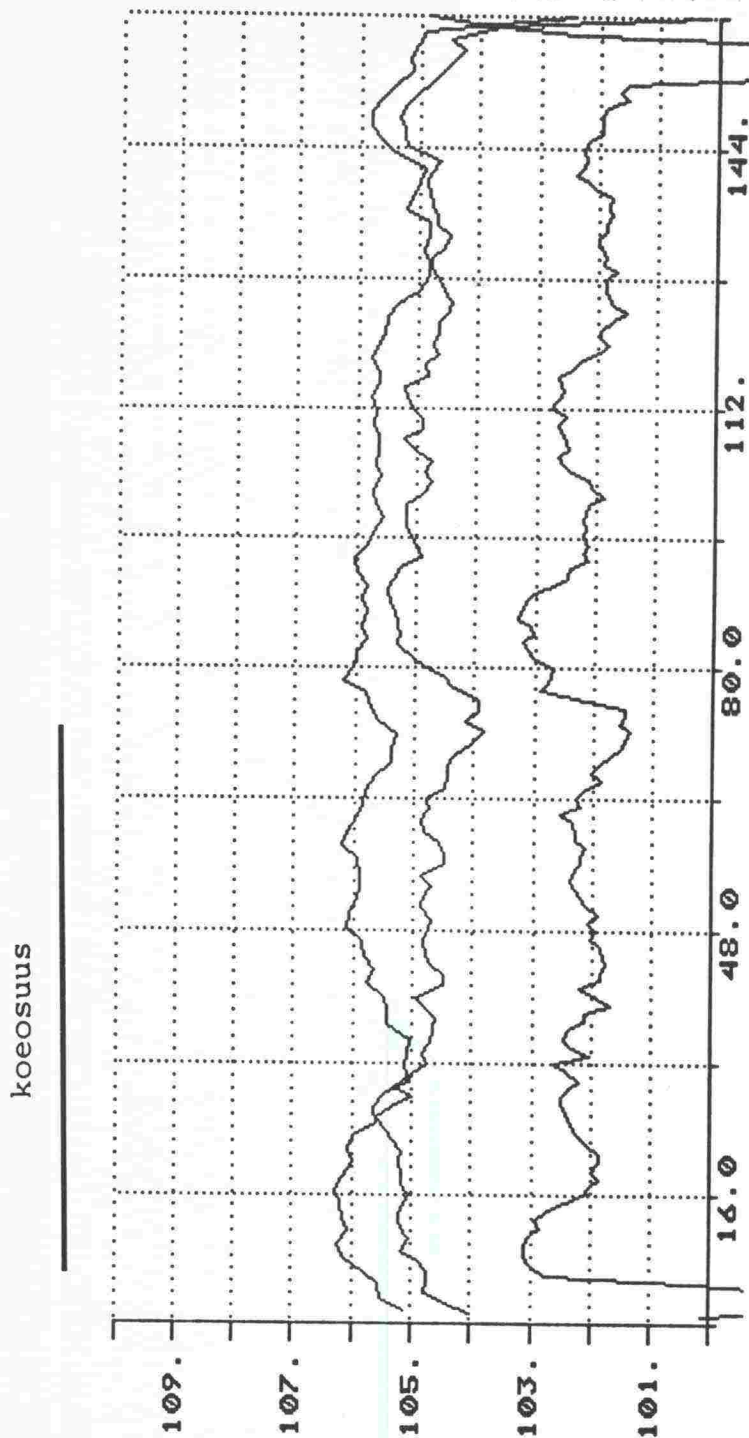
Kuva 48. Kevät, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B).  
Nopeus: 80 km/h.  
Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.



Kuva 49. Kevät, kohteet 12 ja 13 (Pirkkala A ja B).  
Nopeus: 100 km/h.  
Vertailu betonin (ehjä) ja asfaltin (katko) välillä.



Kuva 50. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä), kesärengas.  
 A-äänitaso ajan funktiona välillä Suvisaariston liittymä - Espoonlahden silta.  
 Nopeudet: 60 - 80 - 100 km/h.  
 Vaaka-akselilla aika (s) nopeudella 60 km/h, muiden nopeuksien aikaa venytetty nopeuksien suhteessa.

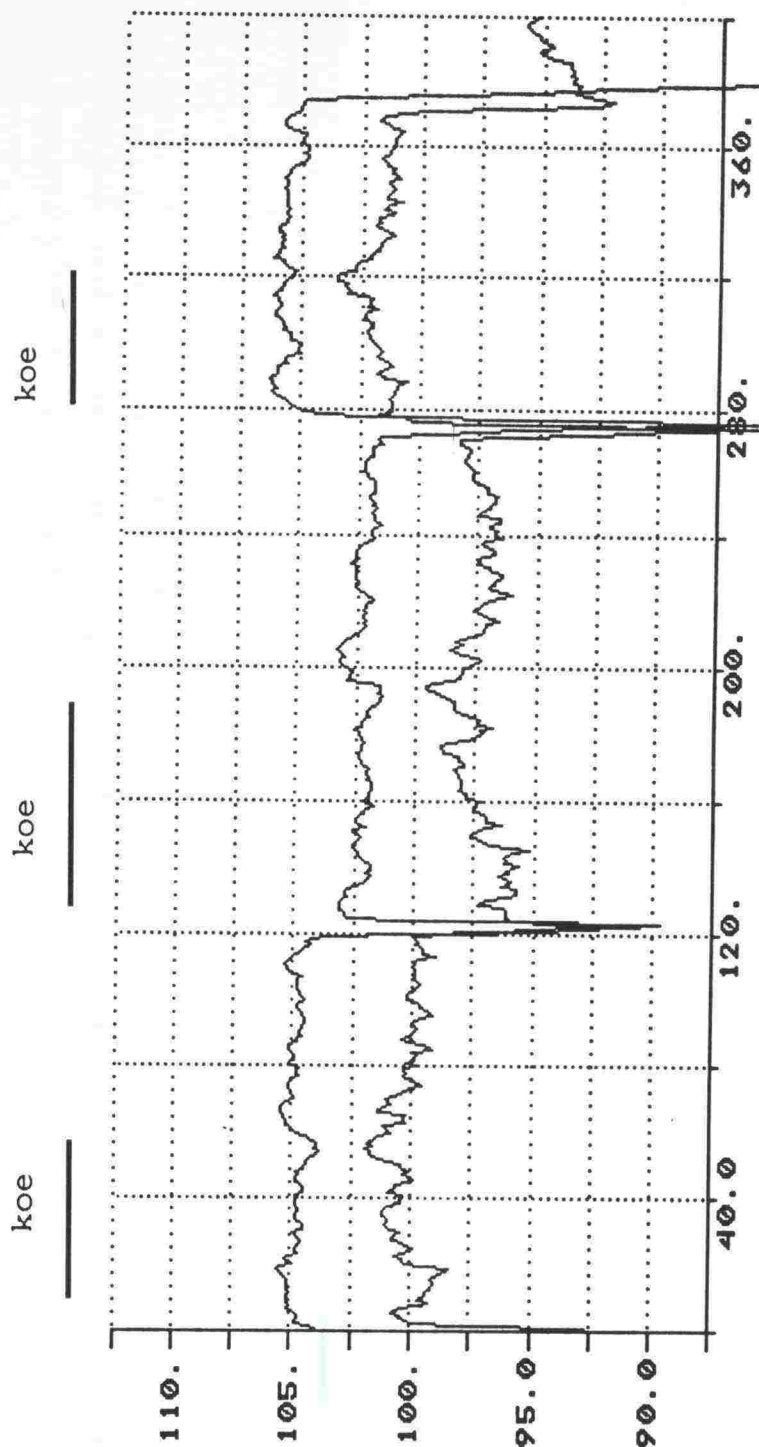


Kuva 51. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä), nastarengas.  
A-äänitaso ajan funktiona välillä Suvisaariston liittymä - Espoonlahden silta.

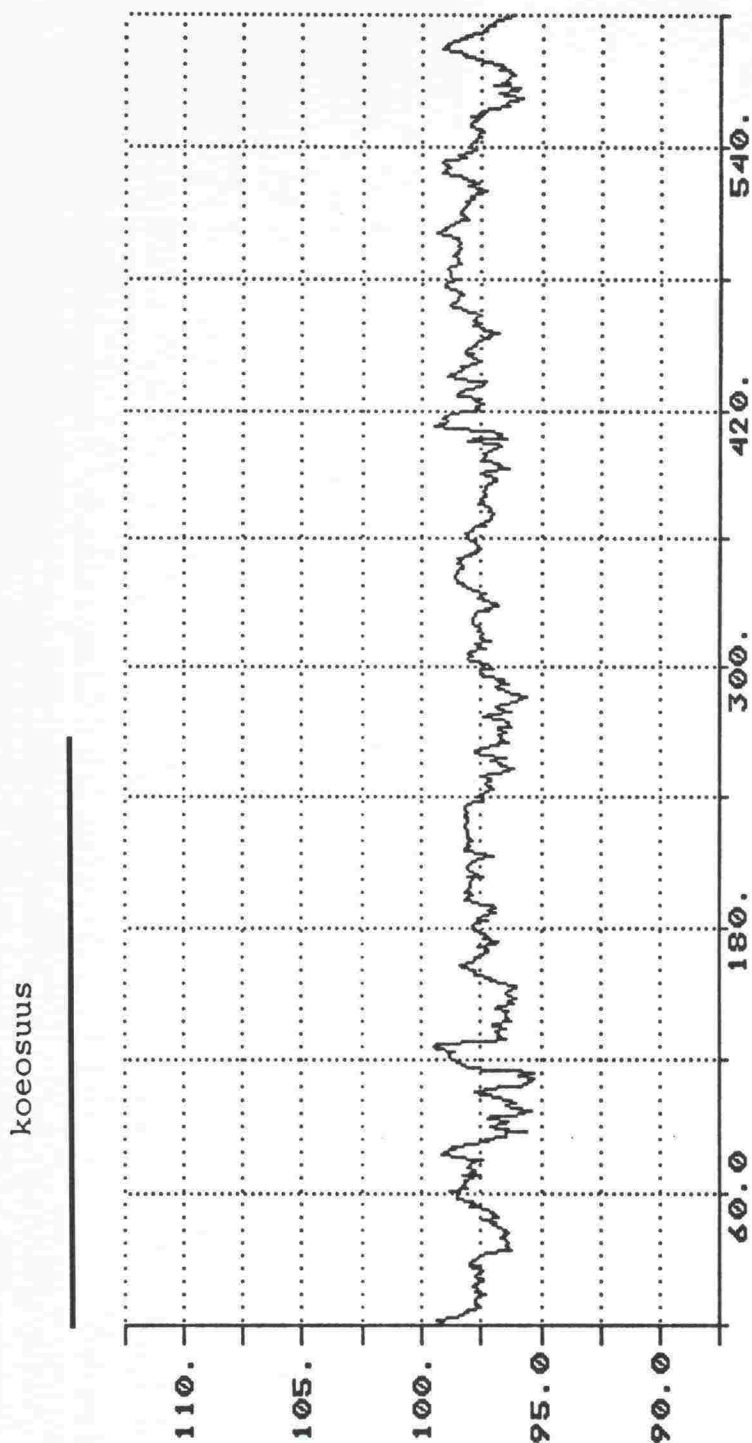
Nopeudet: 60 - 80 - 100 km/h.

Vaaka-akselilla aika (s) nopeudella 60 km/h, muiden nopeuksien aikaa venytetty nopeuksien suhteessa.

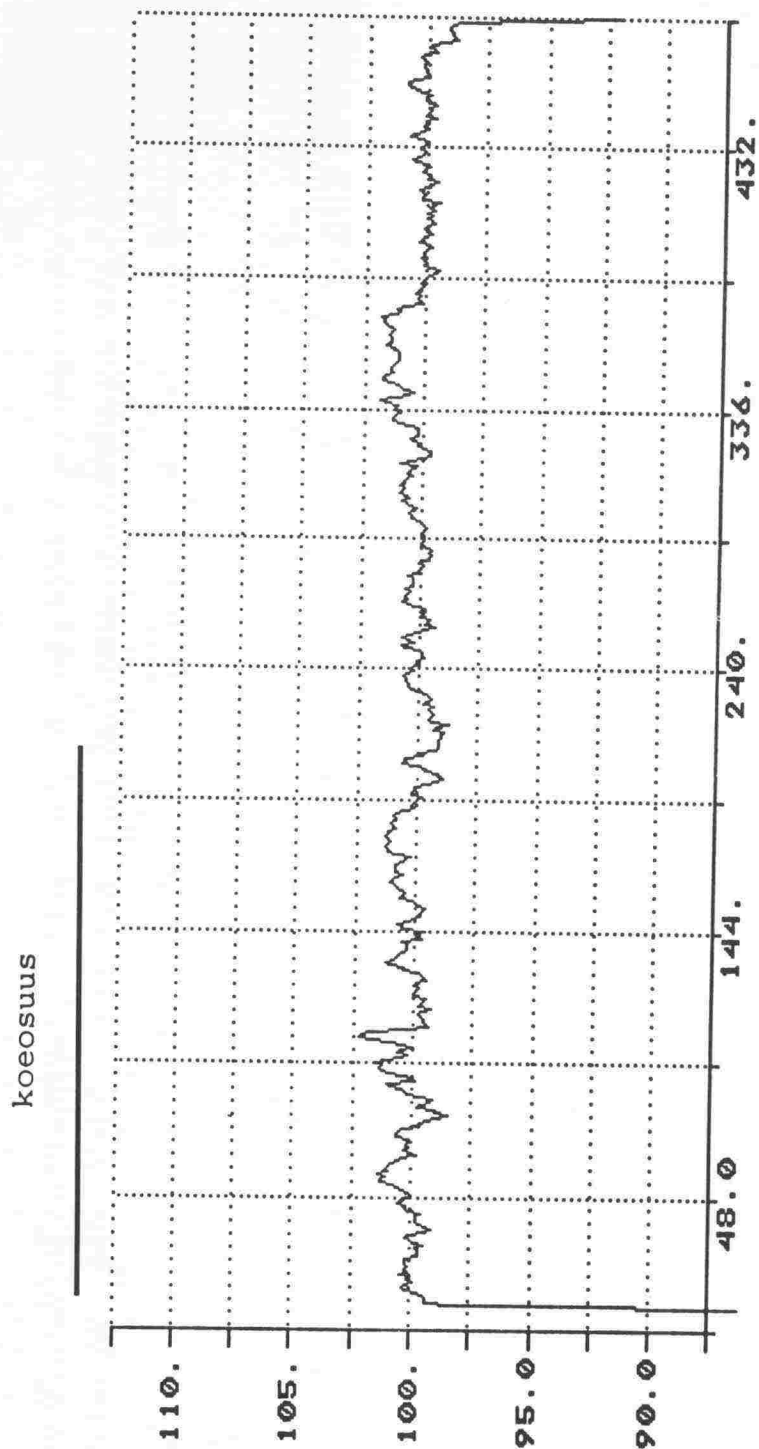




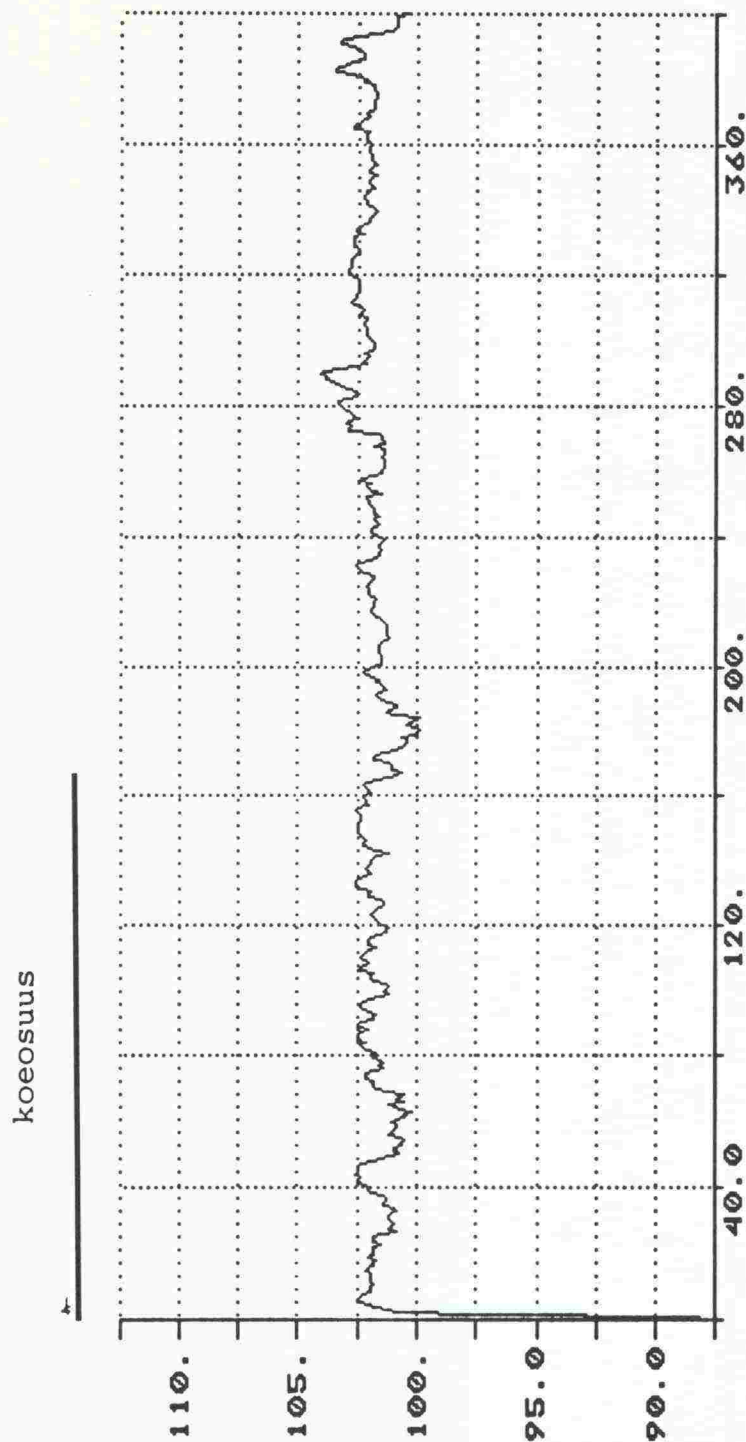
Kuva 52. Syksy, kohde 1 (Länsiväylä),  
vertailu kesä- ja nastarenkaan välillä.  
A-äänitasot ajan funktiona välillä Suvisaariston liittymä - Espoonlahden silta, samassa järjestyksessä missä ne tallennettiin nauhurille: 80 - 60 - 100 km/h. Vaaka-akselilla aika (s).



Kuva 53. Syksy, kohteet 2 ja 3 (Turunväylä A ja B).  
Nopeus: 60 km/h, vaaka-akselilla aika (s).

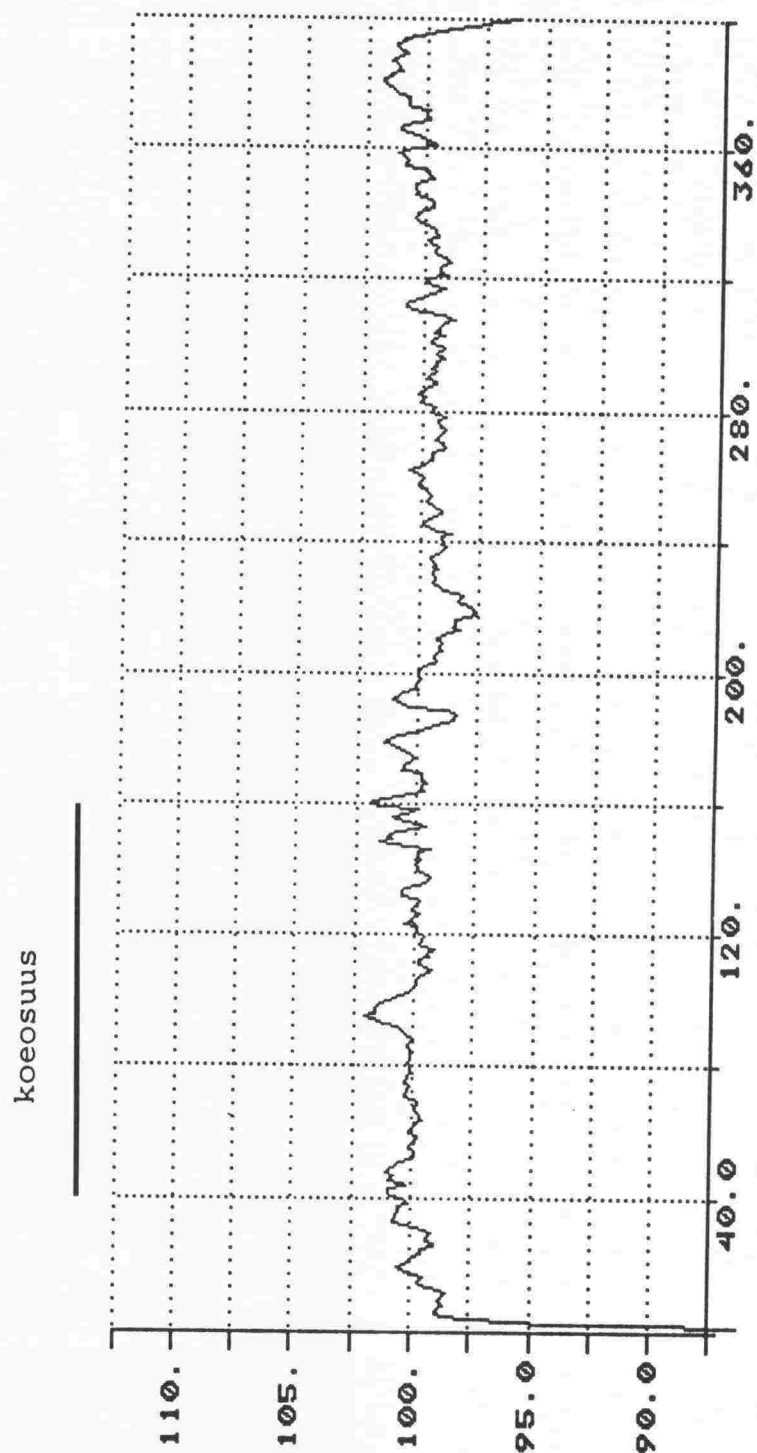


Kuva 54. Syksy, kohteet 2 ja 3 (Turunväylä A ja B).  
Nopeus: 80 km/h, vaaka-akselilla aika (s).

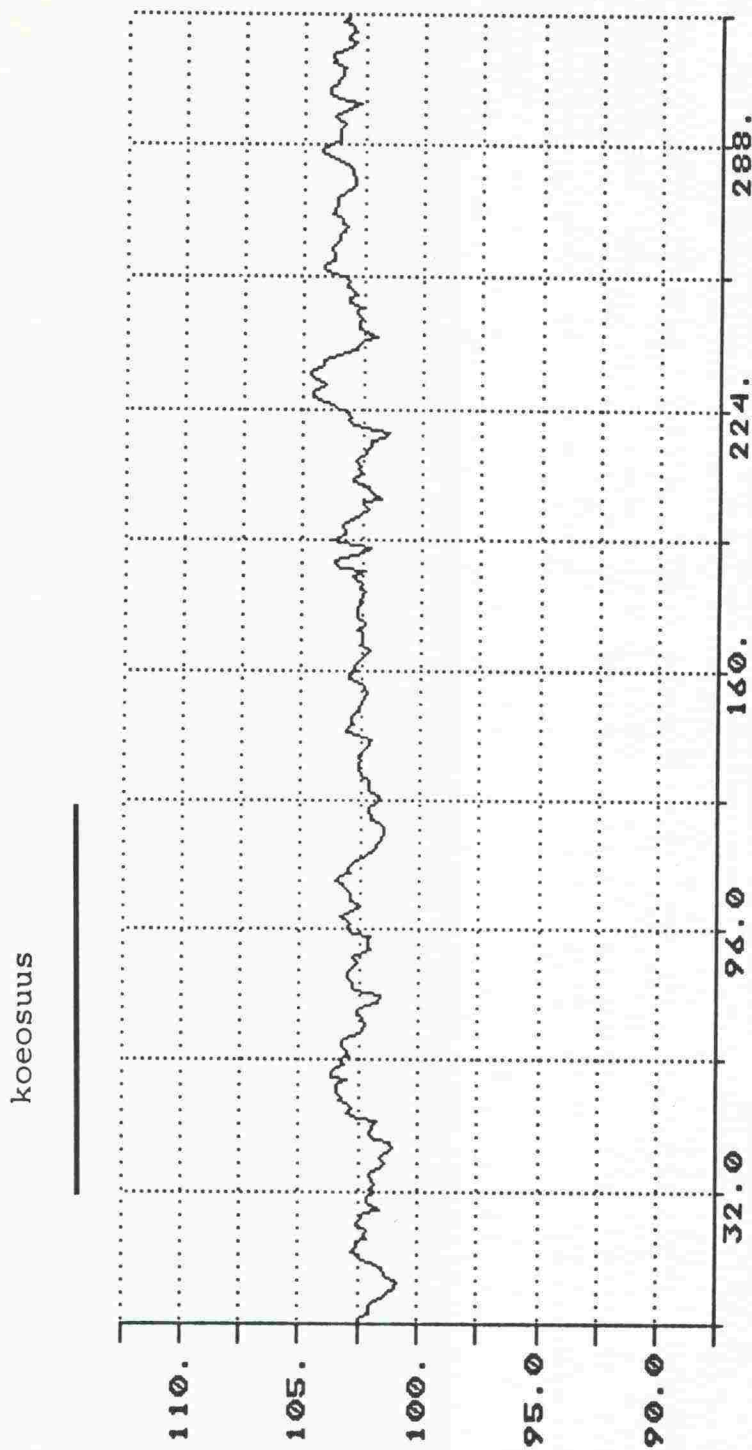


Kuva 55. Syksy, kohteet 2 ja 3 (Turunväylä A ja B).  
Nopeus: 100 km/h, vaaka-akselilla aika (s).



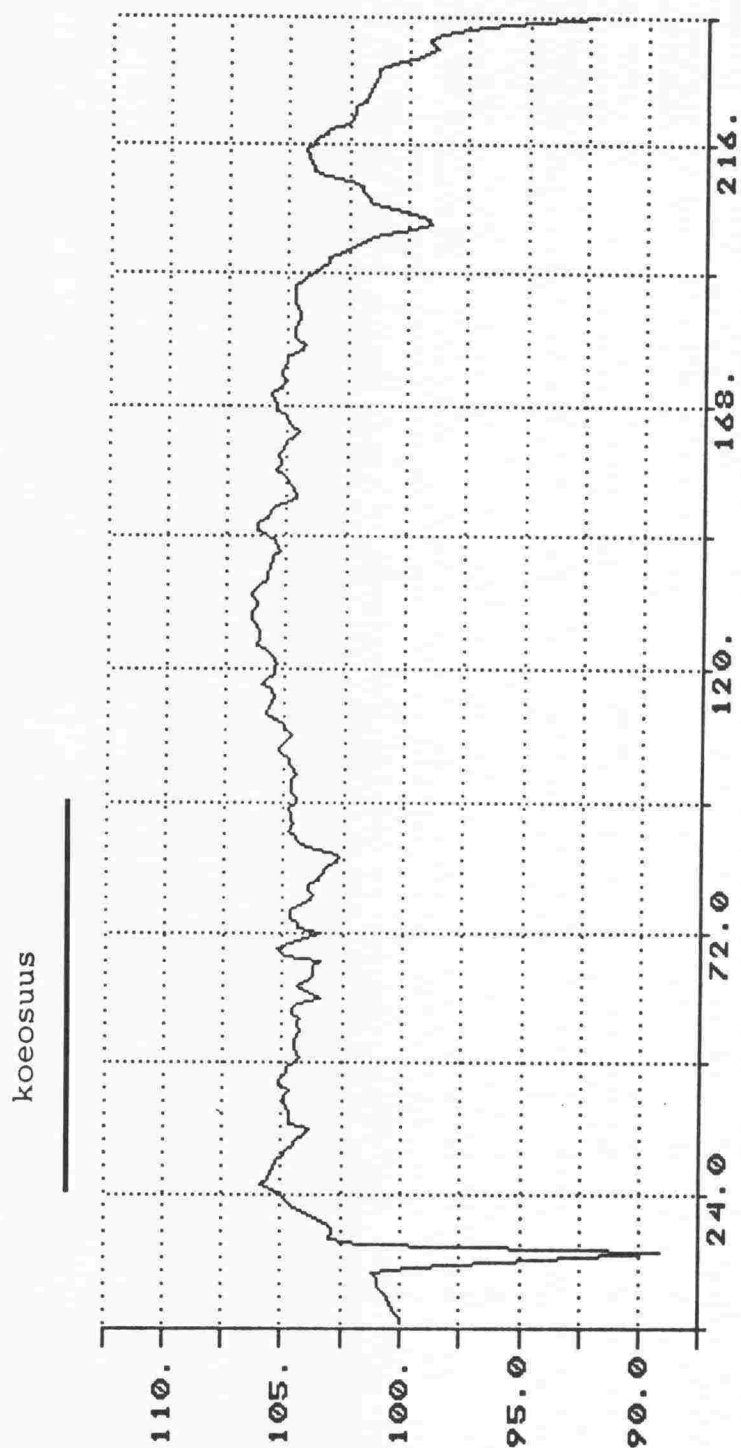


Kuva 56. Syksy, kohteet 10 ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä).  
Nopeus 60 km/h, vaaka-akselilla aika (s).



Kuva 57. Syksy, kohteet 10 ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä).

Nopeus 80 km/h, vaaka-akselilla aika (s).



Kuva 58. Syksy, kohteet 10 ja 11 (Valkeakoski/Lempäälä).

Nopeus 100 km/h, vaaka-akselilla aika (s).

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1990 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1990/1990, 18 s.  
TIEL 741863
- 2/1990 Liuskapystyöjakenttien toiminnasta/1990, 64 s. + liitteet, TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen, teoreettinen osa/1990, 46 s. + liitteet,  
TIEL 703343
- 4/1990 Bitumistabilointi; käytännön ohjeita, mitoitus/1990, 25 s + liitteet,  
TIEL 703899
- 5/1990 Sorateiden ylläpidon ohjaus; Stokastisen mallin soveltamisesta sora-  
teiden kunnonmittauksiin ja toimenpidesuunnitteluun/1990,  
77 s + 38 liitettä
- 6/1990 Rengasmelu ja päällysteet/1990, 24 s. + 32 liitettä, TIEL 703616